# মাধ্যমিক পদার্থ-বিদ্যা

# নূতন সংস্করণের নিবেদন

দেশ স্বাধীন হইবার সঙ্গে সঙ্গে শিক্ষা-বিষয়ে আমূল পরিবর্তন সাধনের চেষ্টা চলিতেছে। এই পরিবর্তনের মধ্যে প্রধান হইল মাতৃভাষাকে শিক্ষার বাহনরূপে প্রবর্তন করা। মাতৃভাষাই যে শিক্ষাদানের শ্রেষ্ঠ মাধ্যম এ বিষয়ে সকল শিক্ষাবিদ্ই একমত। মাতৃভাষার মাধ্যমে বৈজ্ঞানিক জ্ঞান-প্রসারের কর্তৃপক্ষ বিজ্ঞানের পরীক্ষায় বাংলায় উত্তর দানে বাধানিষেধ তুলিয়া দিয়াছেন। ইহাতে বাংলায় বৈজ্ঞানিক জ্ঞান-প্রসারের পথ অনেকটা সুগম হইয়াছে। আশা করি, বাংলা ভাষায় পদার্থ-বিদ্যা লিখিবার আমাদের ক্ষুদ্র প্রয়াস এই বিষয়ে অনেকটা সহায়তা করিবে।

এই পুস্তক প্রথমে কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের আই এসসি. সিলেবাস অনুসারে লিখিত হয়। বর্তমানে তিন বৎসরের ডিগ্রী-কোর্স প্রবর্তিত হইয়াছে। সেইজন্য পূর্বেকার আই. এসসি. কোর্সের সমস্ত সিলেবাসের পাঠ্যসূচী বিদ্যালয়ের নবম, দশম ও একাদশ শ্রেণীতে সমাপ্ত করিতে হইবে। সেই উদ্দেশ্যে মধ্যশিক্ষা পর্ষৎ উচ্চ মাধ্যমিক ও মাল্টিপারপাস বিদ্যালয়ের **নবম, দশম ও একাদশ** শ্রেণীর জন্য পদার্থ-বিদ্যার যে নূতন সিলেবাস অনুমোদন করিয়াছেন আমরা সেই সিলেবাস অনুযায়ী পুস্তকখানি রচনা করিয়াছি। ইহাতে বিশ্ববিদ্যালয়-প্রবর্তিত পরিভাষা যথাসম্ভব ব্যবহৃত হইয়াছে এবং প্রত্যেক বৈজ্ঞানিক কথার ইংরাজী প্রতিশব্দ সঙ্গে সঙ্গেই দেওয়া হইয়াছে। আমরা সর্বত্রই সরল ও একার্থবোধক ভাষা ব্যবহারের চেষ্টা করিয়াছি।

বিখ্যাত বৈজ্ঞানিক শ্রদ্ধেয় অধ্যাপক সত্যেন্দ্রনাথ বসু মহাশয় এই পুস্তকের ভূমিকা লিখিয়া দিয়া আমাদের উৎসাহবর্ধন করিয়াছেন। শ্রদ্ধেয় অধ্যাপক চারুচন্দ্র ভট্টাচার্য, ডক্টর শিশিরকুমার মিত্র ও অন্যান্য অধ্যাপকবৃন্দ এই পুস্তক সম্বন্ধে পরামর্শ দিয়াছেন। এইজন্য আমরা তাঁহাদিগকে আমাদের আন্তরিক ধন্যবাদ জানাইতেছি।

আশা করি, বিভিন্ন শিক্ষকগণ এই পুস্তক পাঠ্য-রূপে মনোনীত করিয়া আমাদের উৎসাহিত করিবেন। এই পুস্তকের উন্নতিকল্পে যে কোন পরামর্শ সাদরে গৃহীত হইবে।

কলিকাতা
চৈত্র ১৩৬৫ সন

**গ্রন্থকারদ্বয়**

## দ্বিতীয় সংস্করণের ভূমিকা

প্রথম সংস্করণের পুস্তক প্রকাশ হইবার পর অনেক শিক্ষক মহাশয় আমাদিগকে পুস্তকের উন্নতির জন্য কয়েকটি পরামর্শ দিয়া আমাদের উপকৃত করিয়াছেন, সেইজন্য পুস্তকের কলেবর কিছু বৃদ্ধি পাইয়াছে। আশা করি শিক্ষক মহাশয়গণ এই পুস্তক পূর্বেকার মত পাঠ্যরূপে মনোনীত করিয়া আমাদিগের উৎসাহ বর্ধন করিবেন।

গ্রন্থকারদ্বয়

কলিকাতা
মাঘ, ১৩৬৮

*Written according to the syllabus approved by the Secondary Education Board, West Bengal, for Class XI of Higher Secondary and Multipurpose Schools.*

# মাধ্যমিক পদার্থ-বিদ্যা

*For Class XI of Higher Secondary and Multipurpose Schools.*


**শ্রীহরপ্রসাদ দে** এম. এসসি., পি. আর. এস্.

কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের অ্যাকাডেমিক কাউন্সিলের সভ্য, বিদ্যাসাগর কলেজের সহ অধ্যক্ষ ও পদার্থ-বিদ্যার প্রধান অধ্যাপক, কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের আই. এসসি. ও বি. এসসির প্রধান পরীক্ষক, গৌহাটি বিশ্ববিদ্যালয়ের আই. এসসির পরীক্ষক, বসু-বিজ্ঞান-মন্দিরের পদার্থ-বিদ্যার গবেষক

ও

**শ্রীনৃপেন্দ্রনাথ সিংহ** এম. এসসি.

কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের ভূতপূর্ব স্যার রাসবিহারী ঘোষ রিসার্চ স্কলার



**প্রকাশ ভবন**

১৫ বঙ্কিম চাটুজ্জে স্ট্রীট, কলিকাতা-১২

প্রথম সংস্করণ—চৈত্র, ১৩৬৫
পরিবর্ধিত ও পরিমার্জিত
দ্বিতীয় সংস্করণ—মাঘ ১৩৬৮

প্রকাশক—সুভাষচন্দ্র মুখোপাধ্যায়
প্রকাশ ভবন
১৫ বঙ্কিম চাটুজ্জে স্ট্রীট
কলিকাতা-১২

মুদ্রক—ক্ষীরোদচন্দ্র পান
নবীন সরস্বতী প্রেস
১৭ ভীম ঘোষ লেন
কলিকাতা-৬

পাঁচ টাকা পঞ্চাশ নয়া পয়সা

# ভূমিকা

বর্তমান যুগ হল বিজ্ঞানের যুগ। অল্প সময়ের মধ্যে আমাদের দেশে বিজ্ঞানের বহুল প্রচার করতে হলে তা মাতৃভাষার মাধ্যমেই করতে হবে। কলেজের প্রথম দুই বৎসরের ছাত্রদের উপযোগী পদার্থ-বিদ্যার বই বাংলা ভাষায় আজ পর্যন্ত লেখা হয় নাই। শ্রীমান হরপ্রসাদ ও শ্রীমান নৃপেন্দ্রনাথ সেই অভাব দূর করবার চেষ্টা করেছেন। এঁরা সরল ভাষায় বিজ্ঞানের দুরূহ-তত্ত্বগুলি সকলের বোধগম্য করার চেষ্টা করেছেন ও বহু চিত্রের সাহায্যে বিষয়বস্তু সকলের কাছে সহজবোধ্য করতে চেয়েছেন। শ্রীমান হরপ্রসাদ বহুদিন ধরে পদার্থ-বিদ্যার শিক্ষকতা করছেন। শিক্ষক হিসাবে তাঁর সুনাম যথেষ্ট। শ্রীমান নৃপেন্দ্রনাথও বিজ্ঞানের একজন কৃতী ছাত্র। এই দুইজনের সমবেত চেষ্টার ফলে যে বই লেখা হল, সেটা দেশের একটা প্রধান অভাব দূর করবে বলে আমার ধারণা।

আশা করছি ছাত্র-মহলে এই বইখানি সমাদৃত হবে এবং এর সাহায্যে তারা অল্প আয়াসেই পদার্থ-বিদ্যার মূলতত্ত্বগুলি আয়ত্ত করতে পারবে।

কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ে বিজ্ঞানের পরীক্ষায় বাংলায় উত্তরদানে কোন বাধানিষেধ নাই। এরূপ স্থলে কলেজ-শিক্ষকমণ্ডলী যদি পুস্তকখানি ছেলেদের পাঠ্য হিসাবে মনোনীত করেন, তাহলে বাংলাভাষায় বিজ্ঞান-প্রচারের কাজ অনেকটা এগিয়ে যাবে। পরে আরও উচ্চাঙ্গের বিজ্ঞানের বই লেখার কাজও অনেক সোজা হয়ে দাঁড়াবে।

সায়েন্স কলেজ
৯২নং আপার সারকুলার রোড,
কলিকাতা, ১০ই আষাঢ়, ১৩৫৬।

সত্যেন্দ্র নাথ বসু

# SYLLABUS

*for*

## CLASS XI

| 1. Contents | 2. Remarks | 3. Practical | Demonstration |
|---|---|---|---|
| 1. General ideas on : Motion : Velocity, acceleration, momentum. Newton's laws. Inertia. Force. Weight. Action and reaction. Elasticity ; Hooke's law. | Equations of uniformly accelerated motion to be proved by algebraic and graphic methods. Effects of force ; Force overcomes other forces—Idea of lb-wt. and gram-wt. ; force produces movement and acceleration ; linear & volume stressss. Elastic limit. Reduction of Frictional force by lubrication. | | Measurement of force by extension of spring. |
| 2. Work, power and energy. | General ideas only. Important units. | | |
| 3. Mechanical equivalent of heat. | Heat as a form of energy. Conservation of energy. Joule's work in brief. Conversion of heat into work in engines—outlines only. | | |

| 1. Contents | Remarks | 3. Practical | 4. Demonstration. |
| --- | --- | --- | --- |
| 4. Production and propagation of Sound. Velocity of sound in air. Reflection of sound and echo. | Sound due to vibration ; Action of tuning fork. Material medium necessary for propagation of soud. Elementary ideas on wave propagation. Velocity of sound in solids and liquids. Echo sounding. Supersonics with relatively common applications to be mentioned. | | Waves and wave properties to be demonstrated using wave machine, wire spiral, ripple-tank etc. |
| 5. Musical sounds : Loudness, pitch, quantity. | Intensity, frequency and overtones. Stringed instruments. Idea of resonance. Vibration of stretched string and air columns. | Determination of velocity of sound by resonance air column. | Sonometer. Organ pipes. |
| 6. Simple phenomena of magnetism. Magnetic poles. Magnetic materials. Magnetic fields. Making magnets. Electro magnets. The Navigator's Compass. | Magnetic induction. Idea of magnetic lines of force. Magnetic shielding. Destruction of magnetisation. | Mapping magnetic fields. Localization of poles. Determination of neutral points. | Action of like and unlike poles. Floating magnet, Suspended magnet. Simulation of earth's field. |

| Contents | Remarks | 3. Practical | 4. Demonstration |
|---|---|---|---|
| | Breaking magnets—an approach to molecular hypothesis. Earth's magcetic poles. Idea of magnetic dip. Qualitative treatment of neutral points. | | |
| 7. Nature of static charge. Two kinds of charges. Conductors and insulators. Charging by contact and by induction. Charges concentrate on points. The elctrons as unit negative charge. | Gold-leaf electroscope. The lightning conductor. | | Pith ball experiments. Charging of electroscope and testing charges on it. |
| 8. Electric current : Its eflects. Elementary treatment of sources of supply. Simple Voltaic cells. | Leclanche Cell—dry and wet. Electrical energy from chemical energy. Idea of D. C. Polarisation. Local action. Internal resistance. | To set up a Leclanche cell and work an electric bell. | Heating effects, chemical effect and magnetic effects to be demonstrated by various experiments. Simple cell, dry cell, storage cell. Build up model lead plates in acid. Show need of charging. |

| 1. Contents | 2. Remarks | 3. Practical | 4. Demonstration |
|---|---|---|---|
| 9. Conditions of current flow. Electrical pressure difference (Potential difference) E. M. F. Control of current flow : switch, resistance. Properties of resistance and Ohm's law. | Coulomb, Ampere, Volt. Ohm. Elementary idea of household wiring—use of fuses. | Set up simple circuits with 2-volt cells.<br>(1) One lamp, one switch ;<br>(2) Two lamps using one switch (Series and parallel) ;<br>(3) Two lamps using two independent switches. | Experiments in 'Practical' may be demonstrated. Action of two-way switch and fuse may also demonstrated. |
| 10. Heating effect of current. | Qualitative study only. | | Measuring temperature of oil in which a current-carrying coil is immersed. Temperature vs time or temperature vs current may be noted. |
| 11. Action of current on magnet and magnet on current.<br>Simple motor. | Qualitative description of Tangent Galvanometer. Barlow's wheel, Roguet's spiral may be discussed. | | Field surrounding straight wire, circular coil and solenoid to be shown by iron fillings and compass needle. |
| 12. Faraday's laws of electromagnetic induction.<br>Simple dynamo. | Applications of Faraday's laws to be indicated and explained qualitatively. | | Demonstration of electro-magnetic induction. |

# সূচীপত্র

## প্রথম খণ্ড

### কার্য, শক্তি ; তাপ ও কার্য ; শব্দবিদ্যা


| বিষয় | | | পৃষ্ঠা |
|---|---|---|---|
| **প্রথম অধ্যায়** | | | |
| গতি, বেগ, ত্বরণ, নিউটনের গতিসূত্র ও বল | | ... | 1 |
| **দ্বিতীয় অধ্যায়** | | | |
| স্থিতিস্থাপকতা | ... | ... | 26 |
| **তৃতীয় অধ্যায়** | | | |
| ঘর্ষণ | ... | ... | 40 |
| **চতুর্থ অধ্যায়** | | | |
| কার্য, ক্ষমতা ও শক্তি | ... | ... | 45 |
| **পঞ্চম অধ্যায়** | | | |
| তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক ও তাপ চালিত এঞ্জিন | | ... | 73 |


## দ্বিতীয় খণ্ড

### শব্দবিদ্যা বা স্বনবিদ্যা


| | | | |
|---|---|---|---|
| **প্রথম অধ্যায়** | | | |
| শব্দের উৎপত্তি ও মাধ্যম | ... | ... | 99 |
| **দ্বিতীয় অধ্যায়** | | | |
| তরঙ্গ ও তরঙ্গের ধর্ম | ... | ... | 105 |
| **তৃতীয় অধ্যায়** | | | |
| শব্দের বেগ | ... | ... | 129 |
| **চতুর্থ অধ্যায়** | | | |
| শব্দের প্রতিফলন | ... | ... | 141 |

# মাধ্যমিক পদার্থ-বিদ্যা

## প্রথম অধ্যায়

## গতি, বেগ, ত্বরণ, নিউটনের গতিসূত্র ও বল

[ পুনরালোচনা ( Recapitulation ) ]

1. Motion ( গতি ), Velocity (বেগ), Acceleration (ত্বরণ) ঃ এই বিষয়গুলি সম্পর্কে নবম ও দশম শ্রেণীর পুস্তকে বিস্তৃতভাবে আলোচনা করা হইয়াছে ( 48-60 পৃষ্ঠা দেখ )।

যখন কোন বস্তু নিজের স্থান ত্যাগ করিয়া অন্য স্থানে যায় তখন বস্তুর অবস্থাকে গতি বলে। যখন ইহা একই স্থানে থাকে তখন ইহার অবস্থাকে স্থিতি বলে। আমরা সর্বদাই তুলনামূলকভাবে দুইটি বস্তুর মধ্যে কোনটি স্থির বা গতিশীল তাহা নির্ণয় করি অর্থাৎ গতি ও স্থিতি আপেক্ষিক। কোন বিশেষ অভিমুখে গতিশীল বস্তুর সময়ের সহিত অবস্থানের পরিবর্তনের হারকে বেগ বলে। যদি কোন বস্তু ক্রমশঃ বর্ধিত বেগে চলে তবে তাহার বেগের পরিবর্তনের হারকে ত্বরণ বলে। একটি বস্তু প্রথম সেকেণ্ডে 10 ফুট, দ্বিতীয় সেকেণ্ডে 12 ফুট, তৃতীয় সেকেণ্ডে 14 ফুট বেগে চলিলে প্রতি সেকেণ্ডে বেগ 2 ফুট বাড়িয়া যায়। ∴ ত্বরণ $= 2$ ফুট/সেকেণ্ড$^2$।

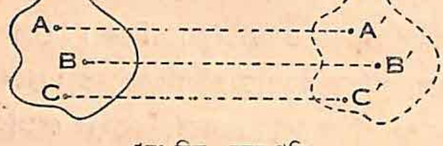
2. Vectors and Scalars ( ভেক্টর ও স্কেলার ): যে সকল রাশির মান ও অভিমুখ দুই-ই থাকে তাহাদিগকে ভেক্টর বলে। সরলরেখা দ্বারা ভেক্টরকে প্রকাশ করা হয় যথা গতি, ত্বরণ, সরণ, বেগ। সরলরেখার দৈর্ঘ্য ভেক্টরের আনুপাতিক মান নির্ণয় করে। সরলরেখার উপর অঙ্কিত তীরচিহ্ন অভিমুখ প্রকাশ করে। যে সকল রাশির কেবল মান থাকে কিন্তু কোন অভিমুখ থাকে না তাহাদিগকে স্কেলার বলে। শুধু সংখ্যা দ্বারা স্কেলার প্রকাশিত হয়, যথা ভর, সময়। যদি বলা হয় যে একটি বস্তুকে 20 ফুট সরানো হইল তবে বস্তুটির দ্বিতীয় অবস্থান ঠিক বলা যায় না কারণ দ্বিতীয়

অবস্থানে প্রথম অবস্থানের 20 ফুট দূরে যে কোন দিকে ইহার থাকা সম্ভব। বস্তুটির ঠিক অবস্থান জানিতে হইলে বস্তুটির **সরণের পরিমাণ ও অভিমুখ** অর্থাৎ বস্তুকে কোন দিকে সরানো হইয়াছে তাহা দুই-ই জানা দরকার। একটি ট্রেন 40 মাইল বেগে চলিয়া 2 ঘণ্টা পরে কোথায় যাইবে জানিতে হইলে ইহা কোন্ দিকে যাইতেছে জানা দরকার।

যদি বলা হয় রামের বয়স 20 বৎসর, বস্তুটির ভর 50 গ্রাম, মজুর দৈনিক 8 ঘণ্টা কাজ করে, বস্তাতে 2 মণ গম আছে তবে এই রাশিগুলির সম্বন্ধে সবই বলা হইল। সুতরাং সময়, ভর প্রভৃতি স্কেলার রাশি।

**3. গতির প্রকার-ভেদ :** গতির কথা পূর্বে বলা হইয়াছে ( নবম ও দশম শ্রেণীর 50 পৃষ্ঠা দেখ )। গতি নানা রকমের হয়। যথা :—

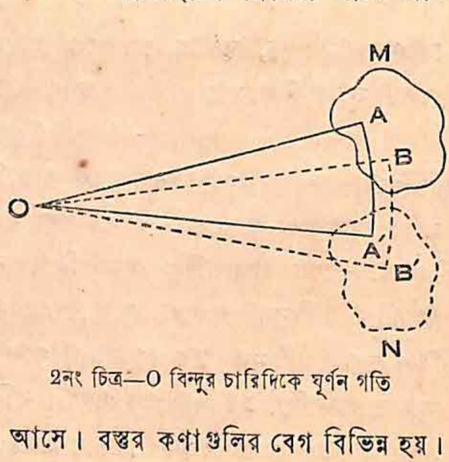
(i) **Translation** ( চলন ) : যখন কোন বস্তু একস্থান হইতে অন্য স্থানে এমনভাবে যায় যে বস্তুটির প্রত্যেক কণার চলনপথ সমান থাকে, তখন এই গতিকে **চলন** বলে। চিত্রে $AA' = BB' = CC'$। আবার $AB = A'B'$, $BC = B'C'$. এইরূপ গতিশীল বস্তু যাত্রাস্থানে ফিরিয়া আসে না।



1নং চিত্র—চলন গতি

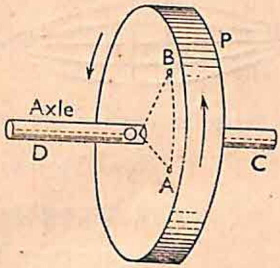
ধনুক হইতে নিক্ষিপ্ত তীরের গতি, বন্দুকের গুলির গতি, ট্রেনের সোজাপথে গতি, ঢিলের পতন—এইরূপ গতি।

(ii) **Rotation** (ঘূর্ণন) : কোনও বস্তু কোন নির্দিষ্ট বিন্দুর (O) বা অক্ষের ( axis-DC ) চতুর্দিকে বৃত্তাকার পথে ঘোরে তখন বস্তুর গতিকে **ঘূর্ণন** বলে। বস্তুটি বারবার যাত্রার স্থানে ফিরিয়া আসে। বস্তুর কণাগুলির বেগ বিভিন্ন হয়।



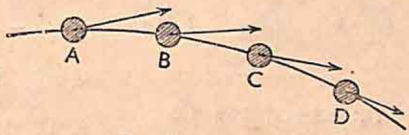
2নং চিত্র—O বিন্দুর চারিদিকে ঘূর্ণন গতি

OA=OA′ OB=OB′. গ্রহের আহ্নিক গতি, ঘানির চারিদিকে বলদের গতি, ঘড়ির কাঁটার গতি, লাটিমের গতি—এইরূপ গতি।



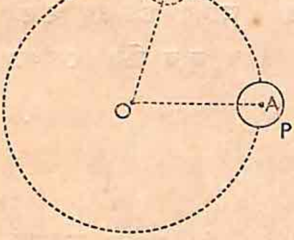

3নং চিত্র—DC অক্ষের চারিদিকে P চক্রের ঘূর্ণন গতি

(iii) **Curvilinear Motion** ( বক্রপথে গতি ) : চলনগতি বক্রপথে হইলে এইরূপ গতি হয়। একটি ঢিল উপর দিকে হেলাইয়া ছুঁড়িলে ইহার গতি বক্রপথে হয়।



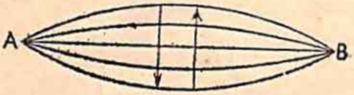

4নং চিত্র—ঢিলের বক্রপথে গতি

(iv) **Periodic Motion** ( পর্যাবৃত্ত গতি ) : যদি কোন কম্পমান বস্তুকণা একই নির্দিষ্ট সময় ( Period ) অন্তর একই অবস্থানের মধ্য দিয়া একই বেগে একই দিকে চলে তবে বস্তুকণার গতিকে **পর্যাবৃত্ত গতি** বলে। যদি এইরূপ বস্তুকণা সম-গতিতে বৃত্তাকার পথে চলে তবে ইহাকে **Circular Periodic** (**চক্রায়িত পর্যাবৃত্ত**) গতি বলে। ঘড়ির কাঁটার গতি, সূর্যের চারিদিকে গ্রহের গতি চক্রায়িত পর্যাবৃত্ত গতি। ঘড়ির দোলকের

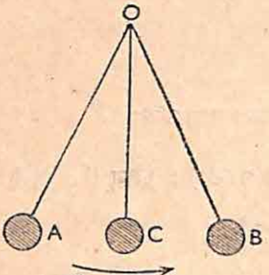



5নং চিত্র—P বস্তুর চক্রায়িত পর্যাবৃত্ত গতি

গতি রৈখিক **পর্যাবৃত্ত গতি**। ইহাকে Oscillation ( দোলন )ও বলে। তারের কম্পন ( Vibration ) পর্যাবৃত্ত গতি।



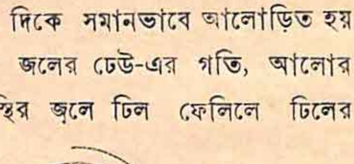

6নং চিত্র—তারের কম্পন




7নং চিত্র—দোলকের গতি

(v) Simple Harmonic Motion (সরল সমঞ্জস গতি) : কোন কম্পমান বস্তুকণা সরলরেখাক্রমে এদিক-ওদিক পর্যাবৃত্ত গতি সম্পন্ন হইলে গতিকে **সরল সমঞ্জস গতি** বলে। যখন বিস্তার খুব কম তখন দোলকের গতি সরল সমঞ্জস গতি। এইরূপ গতিতে গতিশীল বস্তুর ত্বরণ সরলরেখায় অবস্থিত একটি স্থিরবিন্দু ( C ) হইতে সরণের সমানুপাতিক হয়।

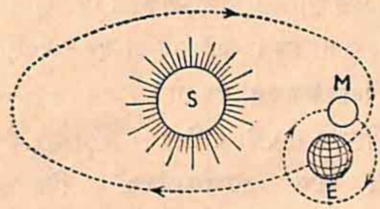
(vi) Wave Motion (তরঙ্গ-গতি) : কোন স্থিতিস্থাপক নিরবচ্ছিন্ন মাধ্যমের এক কণিকা হইতে অন্য কণিকায় গতি স্থানান্তরের প্রক্রিয়াকে **তরঙ্গ-গতি** বলে। এই গতিতে কণিকাগুলি স্থানান্তরিত হয় না। ইহারা মধ্যম অবস্থানের (mean position) উভয় দিকে সমানভাবে আলোড়িত হয় এবং ইহারা সরল সমঞ্জস গতিসম্পন্ন হয়। জলের ঢেউ-এর গতি, আলোর গতি, শব্দের গতি সব তরঙ্গ গতি। স্থির জলে ঢিল ফেলিলে ঢিলের পতনের স্থান হইতে ঢেউ বৃত্তাকারে ছড়াইয়া পড়ে কিন্তু জলকণা এক জায়গায় থাকিয়া উঠানামা করে। ( 'তরঙ্গ' এর অধ্যায় দেখ )।



৪নং চিত্র—মাটিতে বলের গতি মিশ্র গতি

(vii) **মিশ্রগতি** : বিভিন্ন গতির সমবায়ে নানা জটিল গতির উদ্ভব হয়। মাটিতে বলের গতি, রাস্তার

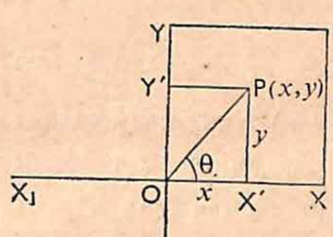
উপর দিয়া চাকার গতি এইরূপ জটিল গতি। চন্দ্র পৃথিবীর চারিদিকে ঘোরে। পৃথিবী চন্দ্রকে লইয়া সূর্যের চারিদিকে ঘোরে। চন্দ্রের গতি মিশ্র গতি।




9নং চিত্র – চন্দ্রের গতি মিশ্র গতি

**4. Graphical Proof of Displacement, Velocity, Acceleration etc.** ( লেখচিত্র দ্বারা সরণ, বেগ, ত্বরণ প্রভৃতির প্রমাণ ):

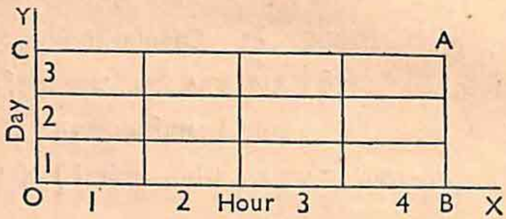
(ক) **Drawing of a graph** ( লেখচিত্র অঙ্কন ): ছক-কাগজে দুইটি সমকোণী রেখা-একটি অনুভূমিক ( horizontal ) $X_1OX$ ও একটি উল্লম্ব ( vertical ) $YOY_1$ রেখা আঁকা হয়। ইহাদিগকে মানরেখা ( lines of reference ) বা অক্ষ ( axes বা co-ordinates ) বলে। OY রেখাকে কোটি ( ordinate ) OX রেখাকে ভুজ (abscissa) বলে। দুইটি রেখার মিলন-স্থানকে মূল ( origin, O ) বলে। কোন বিন্দু P-এর অবস্থান জানিতে হইলে OX ও OY অক্ষদ্বয় হইতে লম্ব দূরত্ব XP ও Y′P মাপিতে হইবে। মনে কর, ইহারা সুবিধাজনক এককে x ও y। কার্টেজীয় পদ্ধতি অনুসারে P বিন্দুর অবস্থান ( $x, y$ ) লেখা হয়। এখন, O হইতে P-এর দূরত্ব $= \sqrt{x^2+y^2}$. POX ( চিত্রে θ ) কোণ মাপিয়া P-এর অভিমুখ ( direction ) নির্ণয় করা হয়।




10নং চিত্র—লেখচিত্র অঙ্কন

লেখচিত্রের সাহায্যে অনেক বৈজ্ঞানিক তথ্য সহজ ও সরলভাবে ব্যাখ্যা ও প্রমাণ করা যায়।

(খ) **লেখচিত্রে দুই রাশির গুণফল :** OX ও OY অক্ষে বিভিন্ন রাশির মান প্রকাশ করা হয়। এই দুই রাশির গুণফল একটি ক্ষেত্রের মত দেখাইলেও গুণফল সর্বদা ক্ষেত্রফল হয় না। মনে কর একটি লোক দিনে 4 ঘণ্টা খাটে, সে 3 দিনে কত ঘণ্টা খাটিবে? মনে কর OX অক্ষে প্রত্যেক ঘর 1 ঘণ্টা ও OY অক্ষে প্রত্যেক ঘর 1 দিন প্রকাশ করে তবে XY সামন্তরিক একটি ক্ষেত্রের মত দেখাইলেও ইহা দুই রাশির গুণফল




11নং চিত্র—লেখচিত্রে দুই রাশির গুণফল

(3×4=)12 ঘণ্টা প্রকাশ করে। এইরূপভাবে যদি OX অক্ষ সময় ($t$) এবং OY অক্ষ বেগ ($v$) প্রকাশ করে তবে OX×OY দুই রাশির গুণফল একটি ক্ষেত্রের মত দেখাইলেও OX×OY=বেগ×সময়=$v \times t$=দূরত্ব প্রকাশ করে। এই গুণফল আকৃতিতে ক্ষেত্রফলের মত দেখাইলেও ইহা ক্ষেত্রফল নয়, ক্ষেত্রফলের মানের সমান দূরত্ব।

(গ) **Time-Displacement Graph** (সময়-সরণ লেখ): মনে কর একটি বস্তু-কণা সমবেগে সরলরেখায় চলিতেছে। ইহার বেগ সেকেণ্ডে 10 ফুট। অর্থাৎ 1 সেকেণ্ডের পর 10 ফুট, 2 সেকেণ্ডের পর 20 ফুট, 3 সেকেণ্ডের পর 30 ফুট যায়। বস্তুকণার সমবেগ ও সময়ের লেখ (graph) আঁকিলে বস্তুকণার **বেগ-সময়** ( velocity-time ) লেখচিত্র পাওয়া যায়।

ছক-কাগজে OX ও OY দুইটি অক্ষ আঁক। মনে কর, OX অক্ষে ক্ষুদ্রতম বর্গের 3টি বাহু এক সেকেণ্ড প্রকাশ করে এবং OY অক্ষে এইরূপ

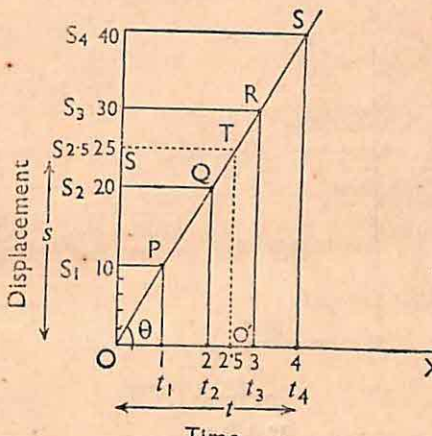
5টি বাহু 10 ফুট সরণ প্রকাশ করে। নিম্নলিখিত উপাত্ত ( data ) হইতে ছক-কাগজে 1, 2, 3 ও 4 সেকেণ্ড পর পর কণার অবস্থান নির্ণয় কর।

| সময় $t$ | 1 | 2 | 3 | 4 | সেকেণ্ড |
|---|---|---|---|---|---|
| O হইতে দূরত্ব S | 10 | 20 | 30 | 40 | ফুট |

ছক-কাগজে বস্তুকণার অবস্থান পাওয়া যায় P, Q, R, S. এই বিন্দুগুলিকে যোগ করিলে একটি সরলরেখা OS পাওয়া যায়।

অর্থাৎ **সমবেগে গতিশীল বস্তুকণার সরণ ও সময়ের লেখচিত্র ( Time-displacement curve ) একটি সরলরেখা হয়।**

এই লেখচিত্র হইতে যে কোন সময়ে সরণ নির্ণয় করা যায়। মনে কর, লেখচিত্র হইতে 2·5 সেকেণ্ড পর বস্তুকণার সরণ নির্ণয় করিতে হইবে। 2·5 সেকেণ্ডের জন্য OX অক্ষ বরাবর ($3\times2{\cdot}5=$) $7\frac{1}{2}$ ঘরে O′ বিন্দু পর্যন্ত যাও। O′ বিন্দু হইতে OY অক্ষের সমান্তরাল O′T রেখা টান। মনে কর এই রেখা OS রেখাকে T বিন্দুতে ছেদ করে। T বিন্দু হইতে OX অক্ষের সমান্তরালে একটি রেখা $TS_{2\cdot5}$ টান। দেখা যায় $TS_{2\cdot5}$ রেখা ও OY অক্ষে ছেদ-বিন্দু S মূল O হইতে $12\frac{1}{2}$ ঘর দূরে অবস্থিত হয়। সুতরাং নির্ণেয় সরণ $=12\frac{1}{2}\times2=25$ ফুট।




12নং চিত্র—সময় সরণ লেখচিত্র

লেখচিত্রের যে কোন বিন্দুর কোটির মানকে ভুজের মান দ্বারা ভাগ করিলে বেগ পাওয়া যায়।

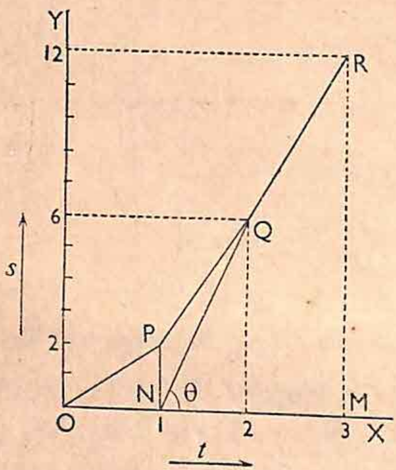
মনে কর OS রেখা OY অক্ষের সহিত $\theta$ ডিগ্রি কোণে আনত ( inclined ) থাকে। প্রমাণ কর বেগ $v = \tan\theta$.

$$\text{আমরা জানি } v = \frac{s}{t}$$

$$\therefore \; v = \frac{\text{সরণ}}{\text{সময়}} = \frac{s}{t} = \frac{OS_1}{Ot_1} = \frac{OS_2}{Ot_2} = \cdots$$

$$\text{আবার } OS_1 = Pt_1,\; OS_2 = Qt_2 \cdots$$

$$\therefore \; v = \frac{Pt_1}{Ot_1} = \frac{Qt_2}{Ot_2} \cdots = \tan\theta.$$



13নং চিত্র

(ঘ) মনে কর, প্রথম সেকেণ্ডে সমবেগ সম্পন্ন বস্তুকণার সরণ 2 ফুট। হঠাৎ বেগ বৃদ্ধি পাইয়া দ্বিতীয় সেকেণ্ডে সরণ 4 ফুট হইল। আবার বেগ হঠাৎ বৃদ্ধি পাইয়া তৃতীয় সেকেণ্ডে সরণ 6 ফুট হইল। বস্তুটি এইভাবে বর্ধিত বেগে চলিতে লাগিল। মনে কর OX অক্ষ $t$, OY অক্ষ $s$ প্রকাশ করে। নিম্নলিখিত উপাত্ত হইতে বস্তুকণার অবস্থান নির্ণয় করা যায়।

| সময় $t$ | O | 1 | 2 | 3 সেকেণ্ড |
|---|---|---|---|---|
| O হইতে দূরত্ব $s$ | O | 2 | 6 | 12 ফুট |

এই উপায়ে লেখচিত্রে 1, 2, 3 সেকেণ্ড পর পর বস্তুকণার অবস্থান P, Q, R পাওয়া যায়।

O, P, Q, R, বিন্দুগুলি যোগ করিলে চিত্রে প্রদর্শিত লেখচিত্র পাওয়া যায়

মনে কর দ্বিতীয় ও তৃতীয় সেকেণ্ডের মধ্যে কণার গড় বেগ বাহির করিতে হইবে। RQ রেখাকে বর্ধিত করিলে ইহা OX অক্ষকে $\theta^\circ$ কোণে ছেদ করে।

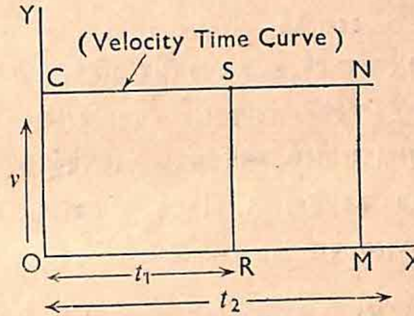
$$v=\frac{\text{সরণ}}{\text{সময়}}=\tan\theta=\frac{RM}{NM}=\frac{12}{2}=6 \text{ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে}$$

(ঙ) **লেখচিত্র দ্বারা s=v.t. সমীকরণের প্রমাণ :**

মনে কর কোন বস্তুকণার সমবেগ$=v_1$ এবং $t$ সময়ে ইহা $s$ দূরত্ব যায়।

প্রমাণ কর $s=v.\ t.$

OX অক্ষে সময় $t$ এবং OY অক্ষে সমবেগ $v$ প্রকাশ করে। মনে কর OC দৈর্ঘ্য বস্তুকণার সমবেগ প্রকাশ করে। বেগ যখন সম তখন ইহা সময়ের সঙ্গে পরিবর্তিত হয় না। সুতরাং সমবেগ-সময় ( velocity-time ) লেখচিত্র CSN সরলরেখা OX অক্ষের সমান্তরাল হইবে। যদি OX অক্ষে $OR=t_1$ সময় নির্দেশ করে তবে উক্ত সময়ে বস্তুকণা যে যে দূরত্ব যায় তাহার মান $=$সমবেগ $\times$ সময়$=v.\ t_1=$ $OC\times OR=ORSC$ আয়তক্ষেত্রের ক্ষেত্রফলের মান। যদি OM রেখা $t_2$ সময় নির্দেশ করে তবে $t_2$ সময়ে অতিক্রান্ত দূরত্ব $S_2=v\times t_2=OC\times OM$ $=OMNC$ আয়তক্ষেত্রের ক্ষেত্রফলের সমান।

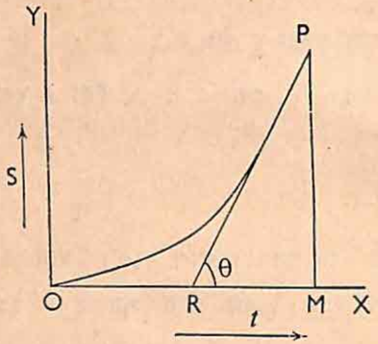



14নং চিত্র সমবেগ-সময় লেখচিত্র

ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে বেগ-নির্দেশক রেখার দুই প্রান্ত ও X অক্ষের মধ্যবর্তী স্থানের ক্ষেত্রফলের মান অন্তর্বর্তী সময়ের সরণ নির্দেশ করে।

**(চ) Graphical representation of the uniform rectilinear acceleration ( সমত্বরণে সরলরৈখিক গতির লেখচিত্র ) ঃ**

13নং চিত্রে বেগ হঠাৎ বৃদ্ধি পাইলে যেরূপ লেখচিত্র হয় তাহা দেখানো হইয়াছে। ত্বরণ সম হইলে প্রতি মুহূর্তে সমান হারে বেগ বৃদ্ধি পাইবে।




15নং চিত্র—সমত্বরণের লেখচিত্র

এইরূপ হইবার ফলে OP, PQ, QR রেখাগুলি খুব ছোট হইয়া পর পর বিভিন্ন কোণে অবস্থিত হইয়া একটানা একটি প্যারাবোলা (Parabola) আকারের বাঁকা রেখা OP হইবে।

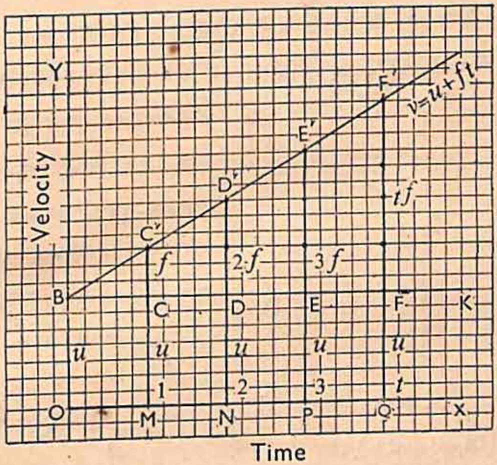
মনে কর, একটি নির্দিষ্ট $t$ সময়ে বস্তুকণার বেগ নির্ণয় করিতে হইবে। OX অক্ষ হইতে ঐ সময় স্থির করিয়া ( মনে কর M বিন্দু ) ঐ বিন্দু হইতে OY অক্ষের সমান্তরালে রেখা টানিয়া ইহা যে বিন্দুতে ( মনে কর P ) প্যারাবোলাকে স্পর্শ করে সেই বিন্দুতে স্পর্শক ( tangent ) PR টান। মনে কর ইহা R বিন্দুতে $\theta^\circ$ কোণে OXকে স্পর্শ করে। এই ক্ষেত্রেও দেখানো যায় $\tan\theta = v$.

**(ছ) লেখচিত্র দ্বারা $v=u+ft$ এই সমীকরণের প্রমাণ ঃ**

মনে কর OX অক্ষে O সময় $t$ এবং OY অক্ষে বেগ $v$ প্রকাশ করা হয়। মনে কর OY অক্ষে OB দৈর্ঘ্য প্রারম্ভিক বেগ $u$ প্রকাশ করে। যদি বস্তুকণার কোন ত্বরণ না থাকিত এবং সমবেগে চলিত তবে ইহার বেগ-সময় লেখচিত্র BK সরলরেখা হইত।

মনে কর, OX অক্ষ বরাবর 5 ঘর এক সেকেণ্ড নির্দেশ করে, সুতরাং M, N, P···যথাক্রমে 1, 2, 3 সেকেণ্ড নির্দেশ করে। মনে কর, ত্বরণ $f$ 3 ঘর নির্দেশ করে। সুতরাং $CC' = f$ ( 3 ঘর ), $DD' = 2f$ ( 6 ঘর ),

$EE' = 3f$ (9 ঘর) : $BC'D'E'F'$ একটি সরলরেখা হয়। সুতরাং **ত্বরণ-সময়** লেখচিত্র সরলরেখা হয়।




1৫নং চিত্র – $V = u + ft$ লেখচিত্র

এক সেকেণ্ড পর বেগ $= MC' = MC + CC' = u + f$

দুই " " " $= ND' = ND + DD' = u + 2f$

তিন " " " $= PE' = PE + EE' = u + 3f.$

মনে কর, $t$ সময়ের পর বস্তুকণার লব্ধ বেগ $v = QF + FF'$

1 সেকেণ্ডের পর বেগ-বৃদ্ধি বা ত্বরণ $CC^1 = f.$

আবার $\frac{FF'}{CC'} = \frac{BF}{BC} = \frac{t}{1} \quad \therefore \quad \frac{FF'}{f} = t.$

$\therefore \quad FF^1 = ft.$ এবং $FQ = u$

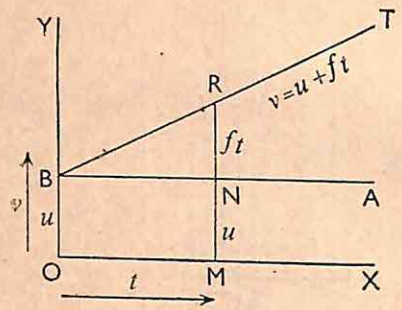
$\therefore \quad t$ সময়ে লব্ধ বেগ $v = QF' = QF + FF' = u + ft.$

যদি প্রাথমিক বেগ শূন্য হয় তবে B বিন্দু O বিন্দুর সহিত মিশিয়া যাইবে। BF′ সরলরেখা O দিয়া যাইবে। এই রেখা $v = ft$ সমীকরণের লেখচিত্র হইবে।

**(জ) লেখচিত্র দ্বারা $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$ – এই সমীকরণ প্রমাণ কর।**

পূর্বের ন্যায় মনে কর বস্তুকণার প্রাথমিক বেগ $=u$, ত্বরণ $=f$, $t$ সময়ে অতিক্রান্ত পথ $=s$, বেগ $=v$.

OX অক্ষ সময় $t$ ও OY অক্ষ বেগ $v$ প্রকাশ করে। OB দৈর্ঘ্য বস্তুকণার প্রাথমিক বেগ $u$ প্রকাশ করে। BT সরলরেখা $v=u+ft$ সমীকরণের লেখচিত্র প্রকাশ করে। BA সরলরেখা ত্বরণশূন্য অবস্থায় সমবেগ-সময় লেখচিত্র প্রকাশ করে। BT রেখার উপর R বিন্দু লও। OX রেখার উপর RNM লম্ব টান। মনে কর OM রেখা $t$ সময় প্রকাশ করে।




17নং চিত্র—$S=ut+\frac{1}{2}ft^2$

এখন, BNMO আয়তক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল ত্বরণহীন $u$-প্রাথমিক বেগ-যুক্ত বস্তুকণার $t$ সময়ে অতিক্রান্ত পথ প্রকাশ করে। আবার BRN ত্রিভুজের ক্ষেত্রফল বস্তুকণা স্থির অবস্থা হইতে $f$ ত্বরণ লইয়া চলিবার ফলে অতিক্রান্ত পথ প্রকাশ করে।

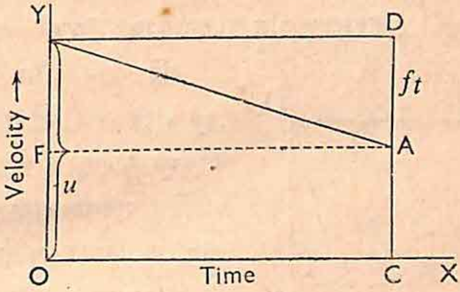
সুতরাং বস্তুকণা $t$ সময়ে $u$ প্রাথমিক বেগ ও $f$ ত্বরণ লইয়া চলিবার ফলে মোট অতিক্রান্ত দূরত্ব S = BNMO আয়তক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল + BRN ত্রিভুজের ক্ষেত্রফল $=\mathrm{OM}\times\mathrm{OB}+\frac{1}{2}\mathrm{BN}\times\mathrm{NR}=t\times u+\frac{1}{2}.\ t.\times ft.=ut+\frac{1}{2}ft^2$.

**(ঝ) মন্দন f গতিতে t সেকেণ্ড পরে পথের দূরত্ব :**

OY অক্ষ বেগ প্রকাশ করে, OX অক্ষ সেকেণ্ডে সময় প্রকাশ করে। মনে কর, বস্তুর প্রাথমিক বেগ $=u$. যাত্রার পর প্রতি সেকেণ্ডে বেগ $f$ হারে কমিতে কমিতে $t$ সেকেণ্ড পরে বস্তুর বেগ AC হইল। সুতরাং OC $=t$ সেকেণ্ড, DA $=ft$ ; A হইতে CO সমান্তরাল করিয়া AF সরলরেখা টান। A হইতে সময়-অক্ষ OX এর উপর লম্ব AC টান।

$$\mathrm{AC}=\mathrm{OY}-\mathrm{YF}=u-ft.$$

পথের দূরত্ব S=YACO ক্ষেত্রফলের মানের সমান। Y হইতে OCর সমান্তরালে OD সরলরেখা টান। CA লম্বকে বর্ধিত কর যেন ইহা ADকে D বিন্দুতে ছেদ করে।




18নং চিত্র—$S=ut-\frac{1}{2}ft^2$ লেখচিত্র

পথের দূরত্ব S=YOCA এর ক্ষেত্রফলের মানের সমান।

=(YDCO আয়তক্ষেত্র − YAD ত্রিভুজ) এর ক্ষেত্রফল

$=(OY\times OC)-(\frac{1}{2}\,YD\times DA)$

$=u\times t-\frac{1}{2}(t\times ft)\ (\because\ AD=YF=ft)$

$=ut-\frac{1}{2}\,ft^2.$

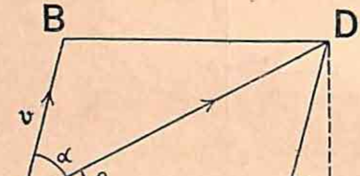
5. **Composition of Velocities** (বেগের সমীকরণ)—যদি কোন বস্তুর একসঙ্গে একাধিক পৃথক বেগ থাকে তবে ইহাদের মিলিত ফলে হয় বস্তুটি স্থির থাকে, না হয় ইহা এক নূতন বেগে চলিতে থাকে। একাধিক বেগের মিলিত ফলে উদ্ভূত নূতন বেগকে **Resultant** (লব্ধি) বেগ বলে। একাধিক বেগকে **Component** (উপাদান বা উপাংশ) বেগ বলে।

6. **একাধিক বেগের লব্ধি**—এই লব্ধি নিম্নলিখিত প্রকার হইতে পারে :—

(ক) যদি কোন বস্তুর একই অভিমুখে সরল রেখাক্রমে একাধিক বেগ থাকে তবে লব্ধিবেগ হইবে একই অভিমুখে ইহাদের যোগফল। (খ) যদি একাধিক বেগ সরলরেখাক্রমে পরস্পর ঠিক বিপরীত অভিমুখে হয় তবে লব্ধি

বেগের পরিমাণ ইহাদের বিয়োগফল হইবে এবং ইহার অভিমুখ বৃহত্তম বেগের অভিমুখ হইবে।

(গ) **Law of Parallelogram of Velocities ( বেগের সামান্তরিক সূত্র )** ঃ যদি বেগগুলি পরস্পর ঝুঁকিয়া (inclined) থাকে তবে সামান্তরিক সূত্রানুসারে উহাদের লব্ধি পাওয়া যায়। সূত্রটি এইরূপ :—




19নং চিত্র - বেগের সমাকরণ

যদি কোন কণিকার যুগপৎ দুইটি বেগ থাকে এবং তাহাদের পরিমাণ ও অভিমুখ সম্পূর্ণরূপে সামান্তরিকের সন্নিহিত বাহুদ্বয় দ্বারা সূচিত হয় তবে তাহাদের লব্ধির পরিমাণ ও অভিমুখ উক্ত বাহুদ্বয়ের মিলনবিন্দু হইতে অঙ্কিত সামান্তরিকের কর্ণ ( diagonal ) দ্বারা সূচিত হইবে।

মনে কর, CA ও CB রেখা যথাক্রমে $u$ ও $v$ সম (uniform) বেগকে প্রকাশ করে এবং ইহারা পরস্পর $\alpha$ কোণে বাঁকিয়া আছে। ACBD সামান্তরিক সম্পূর্ণ কর। মনে কর কণিকাটি CA রেখায় $u$ বেগে চলিতেছে এবং এই সঙ্গে CA রেখাটি $v$ বেগে এমনভাবে চলিতেছে যাহাতে উহার C প্রান্ত CB রেখা অঙ্কিত করে। একক সময়ে চলন্ত কণিকাটি D অবস্থানে আসিবে। $u$ ও $v$ প্রত্যেকে যখন পরিমাণ ও অভিমুখে একক সময়ে একই থাকে তখন C হইতে D পর্যন্ত কণিকার বেগের পরিমাণ ও অভিমুখ একই থাকিবে। অতএব CD হইল কণিকাটির অতিক্রান্ত পথ অর্থাৎ সামান্তরিকের কর্ণ CD লব্ধি বেগকে প্রকাশ করিতেছে।

**জ্যামিতিক প্রমাণ ( লব্ধি বেগ R বাহির করিবার প্রণালী )** ঃ

CAকে N পর্যন্ত বর্ধিত কর এবং DN লম্ব টান। লব্ধিবেগ $= R =$ কর্ণ CD. মনে কর CDর অভিমুখ $u$ বেগের সঙ্গে $\theta$ কোণ উৎপন্ন করে।

$$CD^2 = CN^2 + ND^2 = (CA + AN)^2 + ND^2 = CA^2 + AN^2 + 2CA.AN + ND^2$$

$$=CA^2+(AN^2+ND^2)+2CA.\ AD\cos\alpha$$

$$=CA^2+AD^2+2CA.\ AD\cos\alpha$$

$$\therefore\ R^2=u^2+v^2+2uv\cos\alpha.$$

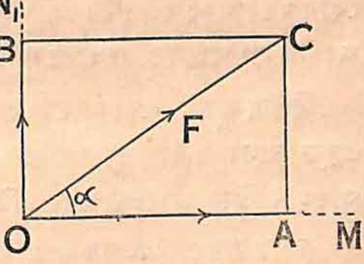
$$\because\ (AN^2+ND^2=AD^2\ ;\ AD=BC=v)\qquad \cdots\cdots(1)$$

$$\tan\theta=\frac{DN}{CN}=\frac{DN}{CA+AN}=\frac{DA\sin DAN}{CA+DA\cos\alpha}=\frac{v\sin\alpha}{u+v\cos\alpha}\cdots(2)$$

যদি দুইএর বেশী বেগ থাকে তবে পর পর এই সূত্র অবলম্বন করিয়া ইহাদের একটি লব্ধি পাওয়া যায়।

(ঘ) **Triangle of Velocities** (বেগের ত্রিভুজ): যদি কোন কণিকার যুগপৎ তিনটি বেগের পরিমাণ ও অভিমুখ ত্রিভুজের পর পর তিনটি বাহুর দ্বারা প্রকাশিত হয় তবে তাহাদের লব্ধি শূন্য হইবে।

7. **Resolution of Velocities** (বেগের বিশ্লেষণ): দুইটি বেগের সম্মিলিত হইবার ফলে একটিমাত্র লব্ধিবেগ উৎপন্ন হয় কিন্তু একটি বেগকে অসংখ্য এক জোড়া বেগে বিশ্লেষণ করা যায় কারণ এই বেগ-প্রকাশক রেখাকে কর্ণ করিয়া অসংখ্য সামান্তরিক অঙ্কন করা যায়। একটি বেগকে দুইটি সমকৌণিক বেগে বিশ্লেষণ করা কার্যতঃ প্রয়োজনীয় হয়। মনে কর, OC রেখা F বেগকে প্রকাশ করে। ইহাকে দুইটি সমকৌণিক অভিমুখ OM ও ONতে বিশ্লেষণ করিতে হইবে। মনে কর $\angle COM=\alpha$। C হইতে ON ও OM-এর উপর যথাক্রমে লম্ব CA ও CB টান। সামান্তরিক সূত্র অনুসারে OA ও OB বিশিষ্ট বেগ $u$ ও $v$কে প্রকাশ করে।



20নং চিত্র—বেগের সমকৌণিক বিশ্লেষণ

$$OA=OC\cos\alpha,\ OB=CA=OC\sin\alpha$$

কিংবা $u=F\cos\alpha,\quad v=F\sin\alpha\cdots\cdots(3)$

**8. Relative Velocity ( আপেক্ষিক বেগ ) :** একটি গতিশীল দ্রব্য A-এর তুলনায় অপর গতিশীল দ্রব্য B-এর অবস্থানের পরিবর্তনের হারকে B-এর আপেক্ষিক গতি বলে। যদি A ও B দুইটি ট্রেন একই দিকে যথাক্রমে $u$ ও $v$ সমবেগে চলিতে থাকে এবং যদি $v$ বেশী হয় তবে B-এর আপেক্ষিক বেগ $(v-u)$ হইবে। যদি $u$ ও $v$ সমান হয় তবে ইহাদের আপেক্ষিক বেগ $(v-u=)$ 0 শূন্য হইবে। A ট্রেনের যাত্রী B ট্রেনকে স্থির দেখিবে। যদি ইহারা বিপরীত দিকে যায় তবে আপেক্ষিক বেগ হইবে $(v+u)$.

সাধারণতঃ A-এর তুলনায় B-এর আপেক্ষিক বেগ জানিতে হইলে A-কে স্থির মনে করিয়া B-এর বেগের সহিত A-এর সমান ও বিপরীত বেগ সম্মিলিত করিয়া উহাদের লব্ধিবেগ বাহির করিতে হয়। লব্ধিবেগই আপেক্ষিক বেগ।

**9. Newton's laws of motion ( নিউটনের গতিসূত্র ) ও Momentum ( ভরবেগ ) :**

**প্রথম সূত্র :** বাহির হইতে impressed force ( প্রযুক্ত বল ) দ্বারা কোন বস্তুর অবস্থার পরিবর্তন ঘটাইতে বাধ্য না হইলে অচল বস্তু অচল অবস্থায় থাকিবে এবং সচল বস্তু সমবেগে সরলরেখায় চলিবে।

**দ্বিতীয় সূত্র :** কোন বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তনের হার বস্তুটির উপর প্রযুক্ত বলের সহিত সমানুপাতিক ( proportional ) হয় এবং বল যে অভিমুখে ক্রিয়া করে ভরবেগের পরিবর্তন সেই অভিমুখী হয়।

**তৃতীয় সূত্র :** প্রত্যেক action-এ ( ক্রিয়ায় ) সমান ও বিপরীত reaction-এর ( প্রতিক্রিয়ার ) উদ্ভব হয়।

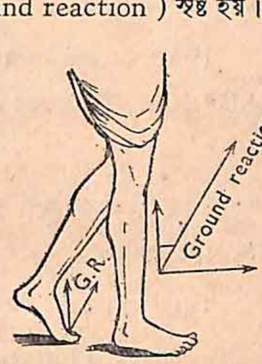
ভরবেগ = ভর × বেগ।

[ ইহাদের বিস্তৃত বিবরণের জন্য নবম ও দশম শ্রেণীর 60-76 পৃষ্ঠা দেখ ।]

**10. ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার অতিরিক্ত উদাহরণ :**

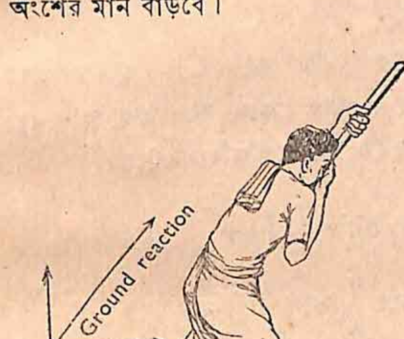
(ক) পেরেককে জোরে হাতের চাপে কাঠে বসাইলে হাতে যন্ত্রণা অনুভূত হয়। কারণ পেরেক হাতের উপর সমান বল প্রয়োগ করে।

(খ) হাঁটিবার সময় আমরা পা দিয়া হেলানোভাবে মাটিতে চাপ দিই। এই ক্রিয়ায় মাটিতে সমান প্রতিক্রিয়াবল ( Ground reaction ) সৃষ্ট হয়। ইহার অনুভূমিক দিকে বিশ্লিষ্ট অংশ ( horizontal component ) পায়ের মধ্য দিয়া আমাদিগকে সামনের দিকে আগাইয়া দেয়। পিচ্ছিল পথে মাটির প্রতিক্রিয়া কম হয়। পিচ্ছিল পথে দ্রুত চলা যায় না। দৌড় প্রতিযোগিতায় অংশ-গ্রহণকারীগণ সম্মুখের দিকে ঝুঁকিয়া দৌড়ানো আরম্ভ করে কারণ ক্রিয়ার বল মাটির দিকে যতই হেলিবে ততই প্রতিক্রিয়া বলের অনুভূমিক অংশের মান বাড়বে।




21নং চিত্র—পায়ের প্রতিক্রিয়া

(গ) সোজাভাবে না দিয়া হেলানোভাবে বাঁশের লগি দিয়া মাটিতে চাপ দিলে নৌকা চলে, ইহাই ক্রিয়া। মাটি সমান মানের এক প্রতিক্রিয়া বল ( Ground reaction ) লগি ও মাঝির শরীরের ভিতর দিয়া নৌকার উপর প্রয়োগ করে। প্রতিক্রিয়া বলের অনুভূমিক অংশ নৌকাকে আগাইয়া দেয়।




22নং চিত্র—লগির প্রতিক্রিয়া

(ঘ) সাঁতার কাটিবার সময় পা দিয়া জলকে পশ্চাৎ দিকে ঠেলিয়া দিই। জলের প্রতিক্রিয়া আমাদিগকে আগাইয়া দেয়।

(ঙ) ব্যাটের দ্বারা বলকে আঘাত করিলে ব্যাটের ক্রিয়ায় বল আগের দিকে আগাইয়া যায় কিন্তু বলের প্রতিক্রিয়ায় ব্যাট একটু পিছাইয়া যায়।

(চ) **গতিশীল উত্তোলকের প্রতিক্রিয়া** ( Reaction in a moving lift ) :

(ক) যখন একটি মানুষ স্থির বা সমবেগে গতিশীল উত্তোলকে দাঁড়াইয়া থাকে তখন উত্তোলকের মেঝেতে মানুষটির ওজনের সমান প্রতিক্রিয়া হয়।

অর্থাৎ $R = W$.

কিন্তু $f$ ত্বরণযুক্ত গতিশীল উত্তোলকে প্রতিক্রিয়া হইবে মানুষটির আপাত ওজন।

(খ) মনে কর $f$ উত্তোলক মানুষকে লইয়া উপরে উঠিতেছে।

মনে কর মানুষের ভর $= M$

$\therefore$ মানুষের ওজন $= Mg$

মানুষের উপর মেঝের উপরদিকে প্রতিক্রিয়া $= R$. মানুষের উপর নিজের ওজন ও মেঝের প্রতিক্রিয়া ছাড়া আর কোন বল ক্রিয়া করে না। সুতরাং প্রতিক্রিয়া $R$ মানুষের ওজনের ($Mg$) চেয়ে অধিক হইবে।

$$R - Mg = Mf. \text{ বা } R = Mg + Mf = M\left(1 + \frac{f}{g}\right)$$

মানুষ তাহার নিজের ওজনের চেয়ে $\frac{f}{g}$ ভাগ ভারী মনে হয়।

উত্তোলক উপরে $f$ ত্বরণে উঠিবার ফলে মানুষ আগের প্রতিক্রিয়ার অতিরিক্ত একটি উর্ধ্বমুখী ঠেল ( thrust ) পাইতেছে। ফলে মানুষ উপরে উঠিতেছে।

(গ) মনে কর মানুষটি লইয়া উত্তোলক $f$ ত্বরণে নীচে নামিতেছে। সুতরাং $Mf$ বল নীচের দিকে ক্রিয়াশীল হইবে। $\therefore \quad Mg - R^1 = Mf$

$$R^1 = Mg - Mf = Mg\left(1 - \frac{f}{g}\right)$$

মানুষটির ওজন $\frac{f}{g}$ ভাগ কম মনে হইবে।

উত্তোলকের উপর মানুষটির সব ওজন পড়িবে না, উপরোক্ত ঘটনা দুইটি নিম্নলিখিত উপায়ে প্রমাণ করা যায়। উত্তোলকের উপর দাঁড়াইয়া ওজন মাপিবার যন্ত্র রাখিয়া ইহার উপর দাঁড়াইলে উত্তোলক উপরে উঠিবার সময় তুমি দেখিবে তোমার ওজন বাড়িতেছে এবং উত্তোলক নীচে নামিবার সময় দেখিবে যে তোমার ওজন কমিতেছে।

**11. Inertia ( জাড্য ) :** কোন বস্তু বাহ্য বল-প্রয়োগ ব্যতীত নিজের ক্রিয়ার দ্বারা নিজের স্থির-অবস্থা বা বেগের হার ও অভিমুখ বদলাইতে পারে না। বস্তুর এই ধর্মকে **জাড্য** বা **জড়তা** বলে। [ ইহাদের বিস্তৃত বিবরণের জন্য নবম ও দশম শ্রেণীর 61-63 পৃষ্ঠা দেখ ]

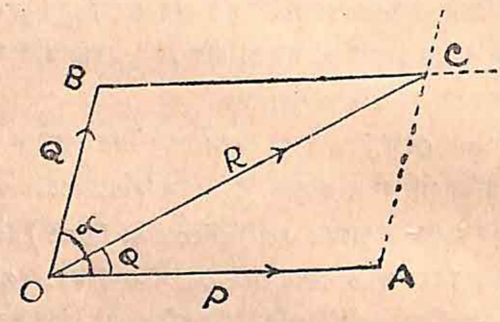
**12. Force ( বেগ ) :** যাহা কোন বস্তুর স্থির-অবস্থান বা সমগতির অভিমুখ ও পরিমাণ পরিবর্তন করে বা পরিবর্তন করিতে চেষ্টা করে তাহাকে **বল** বলে। সুতরাং বল-প্রয়োগের ফল ( effects of force ) হইল কোন বস্তু স্থির থাকিলে তাহা চলে বা চলিবার চেষ্টা করে কিংবা ইহার গতির পরিমাণ বা অভিমুখ পরিবর্তিত হয়। গতির উৎপত্তির বা বেগের পরিবর্তনের বা ত্বরণের কারণ বল-প্রয়োগ ( Forces produce movement and acceleration). [ ইহাদের বিস্তৃত বিবরণের জন্য নবম ও দশম শ্রেণীর 63-66 ও 76-78 পৃষ্ঠা দেখ ]

**13. Composition of Forces ( বলের সমষ্টিকরণ ) :** (i) যদি একটি বস্তুকণার উপর একই সময়ে একই দিকে একই সরলরেখাক্রমে দুইটি বল ক্রিয়া করে তবে ইহাদের সম্মিলিত লব্ধি ( resultant ) বল ইহাদের যোগফলের সমান হইবে এবং একই দিকে ক্রিয়া করিবে।

(ii) যদি উপরোক্ত বল দুইটি বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে তবে ইহাদের লব্ধি ইহাদের বিয়োগফলের সমান হইবে এবং লব্ধি বলের মধ্যে বৃহত্তর বলের দিকে ক্রিয়া করিবে।

(iii) যদি উপরোক্ত বল দুইটি পরস্পরের সহিত আনত ( inclined ) হইয়া ক্রিয়া করে তবে উহাদের লব্ধি বল বলের সামন্তরিক ( parallelogram of forces ) দ্বারা পাওয়া যায়।

**14. Law of Parallelogram of Forces** (বল সামান্তরিকের নিয়ম): যদি কোন বিন্দুতে যুগপৎ ক্রিয়াশীল দুইটি বলের পরিমাণ (magnitude) ও অভিমুখ (direction) সেই বিন্দু হইতে অঙ্কিত কোন সামান্তরিকের দুইটি সন্নিহিত বাহু দ্বারা প্রকাশিত হয় তবে সেই বিন্দুগামী কর্ণ (diagonal) উহাদের লব্ধির পরিমাণ ও অভিমুখ প্রকাশ করিবে।




23নং চিত্র—সামান্তরিক নিয়ম

মনে কর O বিন্দুর উপর P ও Q বল যুগপৎ ক্রিয়া করিতেছে এবং P ও Q বলের পরিমাণ ও অভিমুখ যথাক্রমে OA ও OB রেখা দ্বারা প্রকাশিত হয়। OACB সামান্তরিক সম্পূর্ণ কর। মনে কর উভয় বলের অভিমুখ ∝ কোণে আনত হয়। এখন কর্ণ OC লব্ধি বলের পরিমাণ ও অভিমুখ প্রকাশ করে।

জ্যামিতিক প্রমাণ দ্বারা দেখানো যায় যে

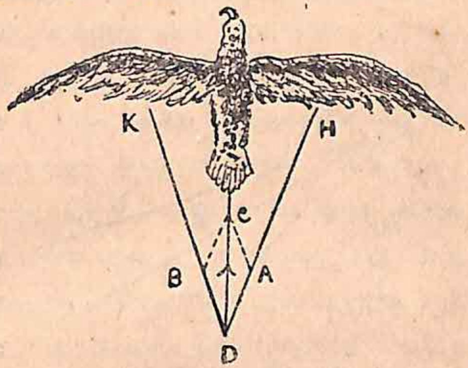
$$\therefore \quad R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \alpha \qquad \ldots\ldots(4)$$

$$\tan \theta = \frac{CD}{OD} = \frac{CD}{OA + AD} = \frac{Q \sin \alpha}{P + Q \cos \alpha} \qquad \ldots\ldots(5)$$

যখন দুইটি বল সমকোণে ক্রিয়া করে তখন $R^2 = P^2 + Q^2$

$$\tan \theta = \frac{Q}{P}.$$

উদাহরণ : (১) একটি নৌকাকে দুই তীর হইতে দুইটি দড়ি দিয়া টানিলে নৌকা নদীর মাঝপথ দিয়া যাইবে। (২) উড়ন্ত পাখী তাহার দুইটি ডানা K ও H দিয়া বাতাসকে আঘাত করে এবং বাতাসও ডানাতে দুইটি প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে। প্রতিক্রিয়ার লব্ধি পাখীকে বাতাসে উড়িয়া যাইতে সাহায্য করে। পাখী যে কোন ডানার মাংসপেশীতে কম-বেশী জোর দিয়া বাতাসের প্রতিক্রিয়ার তথা লব্ধির অভিমুখ বদলাইয়া পাখী যে কোন দিকে উড়িতে পারে। DA ও DB রেখা প্রতিক্রিয়াকে প্রকাশ করিলে কর্ণ DC লব্ধিকে প্রকাশ করিবে।



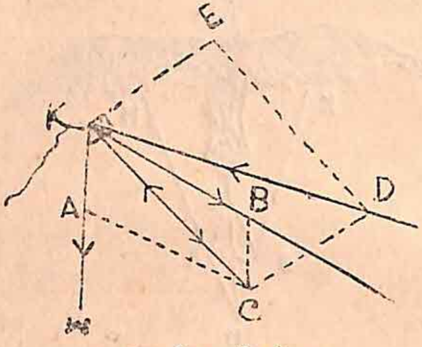
24নং চিত্র—পাখীর উড্ডয়ন

15. **Resolution of Forces** ( বলের বিশ্লেষণ ) : বেগের ন্যায় একটি বলকে দুই বা ততোধিক বলে বিশ্লেষণ করা যায়। যদি R নির্দিষ্ট বল হয়, P ও Q বিশ্লিষ্ট বল হয়, P ও Q-এর মধ্যস্থিত কোণ$=90^\circ$ এবং R ও Qএর মধ্যস্থিত কোণ$=\alpha$.

$$P = R \operatorname{Sin} \alpha. \quad Q = R \operatorname{Cos} \alpha \cdots\cdots(6)$$

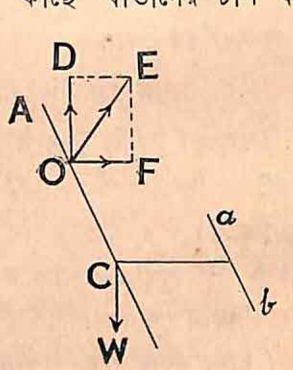
উদাহরণ : ঘুড়ি উড়ানো : K ঘুড়ি বাতাসে স্থির থাকিলে ইহার ভিতর তিনটি বল ক্রিয়া করে :—(ক) ইহার ওজন W ; ইহা লম্বভাবে নিম্নদিকে ক্রিয়া করে। (খ) সূতার টান T ও (গ) বাতাসের চাপ P। মনে কর KA, KB ও DK রেখাত্রয় যথাক্রমে W, T ও P বলকে প্রকাশ করে। KBCA সামান্তরিক সম্পূর্ণ কর। ∴ W ও Tর লব্ধি KC রেখা দ্বারা প্রকাশিত হয় ( সামান্তরিক সূত্র অনুসারে )। মনে কর ইহা R। Pকে দুইটি বলে বিশ্লিষ্ট করা যায়—(i) একটি বল ঘুড়ির তল KE বরাবর ক্রিয়া করে। ঘুড়ির সাম্যের উপর ইহার কোন ফল হয় না। (ii) অপর বল KEর উপর লম্ব ( normal ) হইবে। মনে কর ইহা M। M বল ঘুড়িকে উপর দিকে

ঠেলিবে। এই বল যদি লব্ধি Rর সমান ও বিপরীত হয় তবে ঘুড়ি বাতাসে স্থির থাকে। P যদি বেশী হয় তবে ইহার লম্ব উপাদান M বেশী হয়। ঘুড়ি উপরে উঠে যতক্ষণ না M বল R লব্ধির সমান ও বিপরীত না হয়। P কমিলে ঘুড়ি নীচে নামে। যদি P সমান থাকে তবে সূতা ছাড়িলে T কমে; কাজেই M অপেক্ষা R কমে, ঘুড়ি উপরে উঠে। যখন P হঠাৎ বদলাইয়া যায় তখন ঘুড়ি এলোমেলোভাবে উড়ে। ইহা বন্ধ করবার জন্য ঘুড়ির পিছনে একটা লেজ থাকে। মাটির কাছে P কম থাকে। সেইজন্য দৌড়াইয়া ঘুড়ি উড়াইলে P বেশী হয়, ঘুড়ি উপরে উঠিয়া যায়।




25নং চিত্র—ঘুড়ির উড্ডয়ন

**এরোপ্লেন উড়ানো ঃ** ঘুড়ি উড়ানোর বেলায় আমরা দেখিয়াছি বাতাসের চাপ P বিশেষ প্রয়োজনীয় বিষয়। মাটির কাছে বাতাসের চাপ কম থাকে বলিয়া বালক দৌড়াইয়া ঘুড়িতে বাতাসের চাপ বাড়ায়। ঘুড়ির সূতা ছিঁড়িয়া গেলে T লুপ্ত হয়, ঘুড়ি ঘুরিতে ঘুরিতে মাটিতে পড়ে। কিন্তু সূতা ছিঁড়িবার পূর্বে যদি ঘুড়ির সঙ্গে একটি ওজনশূন্য এঞ্জিন ও চালন-চক্র ( propeller ) জোড়া যাইত এবং ইহারা T মানের সমান বল প্রয়োগ করিত তবে ঘুড়ি আকাশে স্থির থাকিত। উর্ধ্বে বাতাসের চাপ P কমিলে কোন দিকে এঞ্জিনের গতি বাড়াইয়া পুনরায় P বাড়ানো যায়। এঞ্জিনের গতি আরও বাড়াইয়া ঘুড়ির উপর বাতাসের চাপ বাড়ানো

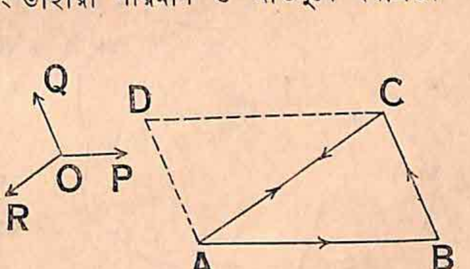



26নং চিত্র—এরোপ্লেনের উড্ডয়ন

যায়। কাজেই M খুব বাড়িয়া ঘুড়িকে দ্রুতগতিতে ঠেলিয়া লইয়া যাইবে, ঘুড়িটি তখন এরোপ্লেন হইবে। এই হইল এরোপ্লেন উড়ানোর নীতি।

মনে কর AC এরোপ্লেনের প্রধান ডানার তল ও OE বাতাসের মোট চাপ প্রকাশ করে। OE বলকে দুইটি বলে বিশ্লিষ্ট কর। একটি অনুভূমিক বল OF আর একটি ঊর্ধ্বদিকে লম্বভাবে ক্রিয়াশীল বল OD. এরোপ্লেনের ওজন W ভারকেন্দ্র Cএর মধ্য দিয়া লম্বভাবে নীচের দিকে ক্রিয়া করে। বালক যেমন মাটিতে দৌড়াইয়া বাতাসের চাপ বাড়ায়, এঞ্জিন মাটির উপর ঘুরিলে এরোপ্লেন মাটির উপর দিয়া দ্রুত চলিতে থাকে। ইহাতে এরোপ্লেনের উপর বাতাসের চাপ বাড়ে। OD যখন Wর চেয়ে বেশী হয় তখন এরোপ্লেন মাটি ছাড়িয়া উপরে উঠে, এরোপ্লেনের অগ্রগতি ডানার উপর বাতাসের চাপ বাড়ায় এবং অনুভূমিক বল OFকে প্রশমিত করে। ঘুড়ির লেজের মত একটি ছোট প্লেন *a*, *b* এরোপ্লেনের শেষে জোড়া থাকে। চালক ছোট প্লেনকে এধার-ওধার ঘুরাইয়া ডানা দুইটিকে ঠিক রাখে এবং এরোপ্লেনকে নামাইতে বা উঠাইতে পারে।

16. Triangle of forces (বলের ত্রিভুজ): যদি তিনটি বল একটি বিন্দুর উপর কাজ করে এবং তাহারা পরিমাণ ও অভিমুখে যথাক্রমে একটি ত্রিভুজের একই দিকে পর পর ( taken in order ) তিনটি বাহু দ্বারা প্রকাশিত হয় তবে বলগুলি বিন্দুর সমতা রক্ষা করিবে।



27নং চিত্র—বলের ত্রিভুজ

প্রমাণ: মনে কর O বিন্দুতে তিনটি বল P, Q, R ক্রিয়া করে এবং ইহারা যথাক্রমে AB, BC, CA দ্বারা প্রকাশিত হয়। BACD সামান্তরিক সম্পূর্ণ কর। AD ও BC সমান ও সমান্তরাল।

$\therefore$ Q বলকে AD প্রকাশ করে।

$\therefore$ A বিন্দুতে P ও Q বলকে যথাক্রমে AB ও AD বাহু প্রকাশ করে।

∴ কর্ণ AC = ইহাদের লব্ধি।

∴ তৃতীয় বল R ও লব্ধি যথাক্রমে CA ও AC দ্বারা প্রকাশিত হয় অর্থাৎ তাহারা সমান ও বিপরীতমুখী হয়।

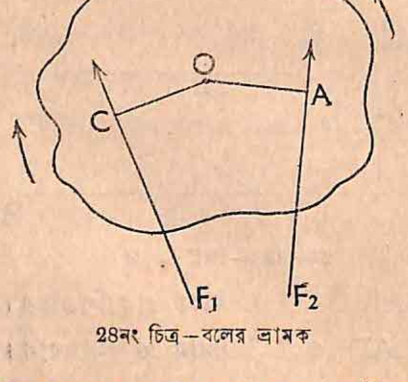
∴ তিনটি বলের মিলিত ফল = 0.

∴ তিনটি বল বিন্দুর সমতা রক্ষা করে। বিন্দুটি নড়ে না।

**বলের ত্রিভুজের বিপরীত সূত্র ঃ** যদি তিনটি বল কোন বিন্দুর উপর ক্রিয়া করিয়া বিন্দুকে স্থির রাখে তবে তাহারা ত্রিভুজের পর পর একই দিকে তিনটি বাহুর দ্বারা প্রকাশিত হইবে।

**উদাহরণ ঃ** কোন ছবির দুই ধারে একটি সূতা বাঁধিয়া একটি পেরেক হইতে ঝুলাইলে ছবিটি তিনটি বলের ক্রিয়ায় স্থির থাকিবে, যথা :—(ক) ছবির ওজন W নিম্ন দিকে ক্রিয়া করিবে। (খ) দুই দিকের সূতার টান $T_1$ ও $T_2$। তিনটি বলকে ত্রিভুজের তিনটি বাহু দ্বারা প্রকাশ করিলে ইহা দেখানো যায় যে সূতা ছোট করিলে $T_1$ ও $T_2$ বাড়িয়া যায়। বেশী ছোট করিলে ছবি ছিঁড়িয়া পড়িয়া যাইতে পারে।

**16A. Moment of a Force (বলের ভ্রামক) ঃ** কোন বলের ক্রিয়ায় যদি কোন বস্তু কোন বিন্দু বা অক্ষের চতুর্দিকে ঘুরিতে থাকে তবে বলের মানের ও অক্ষ হইতে বলের অভিমুখের লম্ব দূরত্বের গুণফলকে **বলের ভ্রামক** বলে। ভ্রামকের মান ও অভিমুখ থাকে। মনে কর, বস্তুর আবর্তন-অক্ষ O (axis of rotation). $F_2$ বল ইহার উপর ক্রিয়া করে। O হইতে বলের ক্রিয়ার রেখার লম্ব দূরত্ব OA. সুতরাং বলের ভ্রামক = $F_2 \times OA$.

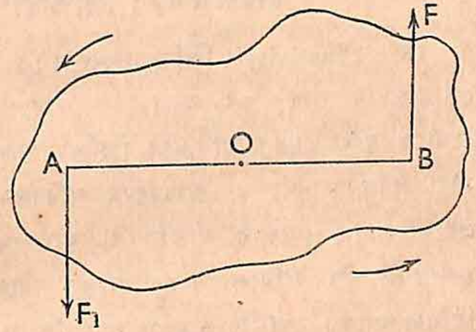


28নং চিত্র—বলের ভ্রামক

লম্ব দূরত্বকে বলের বাহু বলে, বস্তুটি ঘড়ির কাঁটার দিকে ঘুরিলে ভ্রামক ঋণাত্মক ($F_1 \times OC$) এবং বিপরীত দিকে ঘুরিলে ভ্রামক ধনাত্মক ($F_2 \times OA$)

হয়। কব্জাযুক্ত দরজা খুলিতে কব্জা হইতে দূরতম বিন্দুতে ও দরজার তলের উপর লম্বভাবে বলপ্রয়োগ করা দরকার।

16B. Couple (দ্বন্দ্ব) : একটি বস্তুর উপর দুইটি সমান ও সমান্তরাল বল ( F ও $F_1$ ) বিপরীত দিকে ক্রিয়া করিলে বস্তুটি আবর্তিত হইবে। ইহাকে বলের দ্বন্দ্ব বলে। দ্বন্দ্বের ভ্রামক = একটি বলের মান × ইহাদের ক্রিয়া-রেখার মধ্যে দূরত্ব ( $F_1 \times AB$ )। ইহাকে torque'ও বলে।




29নং চিত্র—দ্বন্দ্ব

17. Weight (ওজন) : পৃথিবীর আকর্ষণের মোট পরিমাণকে কোন বস্তুর ওজন বলে। F. P. S. প্রণালী অনুসারে বলের মহাকর্ষীয় একক = 1 পাউণ্ডের ওজন ( weight of a pound or pound-weight ) $= 1$ পাউণ্ড $\times g = 1$ পাঃ $\times$ 32·2 ফিট/সেকেণ্ড$^2$ = 32·2 পাউণ্ডাল। C. G. S. প্রণালী অনুসারে বলের মহাকর্ষীয় একক = 1 গ্রামের ওজন (gram-weight) $= 1$ গ্রাম $\times g = 1 \times 981$ সেঃ মিঃ/সেকেণ্ড$^2$ = 981 ডাইন। [ ইহাদের বিস্তৃত বিবরণের জন্য 83-86 পৃষ্ঠা দেখ ]

# দ্বিতীয় অধ্যায়

## Elasticity ( স্থিতিস্থাপকতা ) :

18. **Elasticity ( স্থিতিস্থাপকতা ) :** যে আভ্যন্তরীণ গুণের জন্য কোন পদার্থ বাহ্যিক বল প্রয়োগে আকার বা আয়তন উভয়ের পরিবর্তনের চেষ্টাকে বাধা দেয় তাহার নাম **স্থিতিস্থাপকতা**। এই গুণের জন্য নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত আকার বা আয়তনের পরিবর্তন ঘটিলেও প্রযুক্ত বল সরাইয়া লইলেই পদার্থ পূর্বেকার আকার বা আয়তনে ফিরিয়া আসে। রবার বা ইস্পাতের স্প্রীং টানিলে বড় হয়, ছাড়িয়া দিলে ইহারা পূর্বেকার আকারে ফিরিয়া আসে। গাড়ীর ও ঘড়ির স্প্রীং ইস্পাত দিয়া তৈয়ার হয়। কর্ককে চাপিয়া বোতলের মুখে লাগানো হয়। তূলা ও নারিকেল ছোবরা স্থিতিস্থাপক বলিয়া বালিশে বা গদিতে দেওয়া হয়। গ্যাস বা বায়ু খুব স্থিতিস্থাপক। সেইজন্য বায়ুপূর্ণ ফুটবল মাটিতে পড়িলে ভিতরের বায়ুর আয়তন হ্রাস পায়। তৎক্ষণাৎ মাটির প্রতিক্রিয়ায় বল উপরে উঠিয়া নিজের আয়তনে ফিরিয়া আসে।

বায়ু-পাম্পের মুখ আঙ্গুল দিয়া বন্ধ করিয়া দণ্ডটি নামাইলে বায়ুর আয়তন কমে। দণ্ডটি বায়ুর স্থিতিস্থাপকতার জন্য পূর্বস্থানে ফিরিয়া আসে।

**Strain ( টান বা বিকৃতি ) :** যখন কোন পদার্থের উপর কোন বল বা বলের সমষ্টি ক্রিয়া করিয়া ইহার অংশকে পরস্পর হইতে সরাইয়া দেয় ( relative displacement ) তখন পদার্থের দৈর্ঘ্য, আকার বা আয়তনের পরিবর্তন ঘটে। এই পরিবর্তনকে **টান** বা বিকৃতি বলে। প্রতি একক দৈর্ঘ্যে, ঘনফলে বা আকৃতিতে যে পরিবর্তন ঘটে তাহা দিয়া বিকৃতি মাপা হয়।

$\therefore$ বিকৃতির মাপ $= \frac{a-b}{b}$, যেখানে $a =$ পদার্থের প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য, আয়তন বা আকার, $b =$ পরিবর্তিত দৈর্ঘ্য বা আয়তন বা আকার। ইহা একটি অনুপাত ( ratio ) মাত্র। ইহা নিছক সংখ্যা দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

**Stress বা Restoring force ( পীড়ন ) :** যখন কোন পদার্থ বাহ্যিক বল ( deforming force ) প্রয়োগ দ্বারা বিকৃতি হয় তখন এই বিকৃতিকে প্রতিরোধ করিবার জন্য এবং বল অপসৃত হইলে বিকৃত অংশগুলিকে পূর্ববস্থায়

ফিরাইয়া আনিবার জন্য পদার্থের ভিতরে আপনা হইতেই একটি প্রতিক্রিয়া বলের উদ্ভব হয়। নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুসারে প্রতিক্রিয়া বল প্রযুক্ত বলের সমান ও বিপরীত হয়। এই আভ্যন্তরীণ প্রতিক্রিয়া বলকে **পীড়ন** বলে। বাহ্যিক বল সরাইয়া লইলে এই আভ্যন্তরীণ প্রতিক্রিয়া বলের প্রভাবে পদার্থটি পূর্বের আকার ও আয়তনে ফিরিয়া আসে। প্রযুক্ত বল ও পীড়ন পরিমাণে সমান। সুতরাং বল সম ( uniform ) হইলে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে যে বল প্রযুক্ত হয় তাহাই পীড়নের মাপ।

$$\therefore \quad \text{পীড়ন} = \frac{\text{মোট প্রযুক্ত বল}}{\text{মোট ক্ষেত্রফল}} \quad \ldots\ldots(7)$$

কোন ছেদের (cross section) লম্বদিকে পীড়নের বিয়োজিত অংশকে উক্ত ছেদের উপর **Normal stress** ( **লম্ব পীড়ন** ) বলে। আবার কোন ছেদের স্পর্শক বরাবর পীড়নের বিয়োজিত অংশকে **Tangential stress** ( **স্পর্শকীয় পীড়ন** ) বলে।

**Perfectly Elastic** ( পূর্ণস্থিতিস্থাপক ): বিকৃতি সৃষ্টিকারী বাহ্যিক বল অপসৃত হইলে যখন কোন পদার্থ ঠিক পূর্বেকার আকার ও আয়তনে ফিরিয়া আসে তখন তাহাকে **পূর্ণস্থিতিস্থাপক** পদার্থ বলা হয়। বেশী বাহ্যিক বল প্রয়োগেও যদি কোন পদার্থের আকার বা আয়তনের বিকৃতি না ঘটে তবে তাহাকে বলা হয় **Perfectly rigid** ( পূর্ণ দৃঢ় )। কোন পদার্থই পূর্ণস্থিতিস্থাপক বা পূর্ণ দৃঢ় নহে। কাচ অনেকটা দৃঢ় পদার্থ।

**Elastic Limit** ( **স্থিতিস্থাপক গণ্ডী** ): কোন পদার্থই পূর্ণস্থিতিস্থাপক নহে কিন্তু প্রযুক্ত বল একটি নির্দিষ্ট গণ্ডীর মধ্যে থাকিলে অনেক পদার্থ পূর্ণস্থিতিস্থাপকের ন্যায় আচরণ করে অর্থাৎ পূর্বেকার আকার ও আয়তনে ফিরিয়া আসে। এই নির্দিষ্ট গণ্ডীকে বলে **স্থিতিস্থাপক গণ্ডী**। প্রযুক্ত বল বাড়িয়া নির্দিষ্ট গণ্ডী অতিক্রম করিলে পদার্থের স্থায়ী বিকৃতি ( Permanent set ) ঘটে। তখন প্রযুক্ত বল সরাইলেও পদার্থ পূর্বেকার আকারে ও আয়তনে ফিরিয়া আসে না। রবারকে বেশী টানিলে প্রযুক্ত বল স্থিতিস্থাপক গণ্ডী অতিক্রম করে। ইহা ছিঁড়িয়া যায়।

**Elastic Fatigue** ( স্থিতিস্থাপক ক্লান্তি ): যদি স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর মধ্যেও অপেক্ষাকৃত বেশী বল বেশী সময় যাবৎ কোন পদার্থের উপর ক্রিয়া করে তবে প্রযুক্ত বল অপসৃত হইলেও পদার্থ একটু বিশ্রাম করিয়া ধীরে ধীরে পূর্বেকার অবস্থায় ফিরিয়া আসে। এই ঘটনাকে **স্থিতিস্থাপক ক্লান্তি** বলে।

19. **বিভিন্ন বিকৃতি :** (ক) **Longitudinal or Tensile Strain** ( দৈর্ঘ্য-বিকৃতি ): কোন বলের চাপে ( সঙ্কোচনী পীড়ন ) বা টানে ( প্রসারনী পীড়ন ) পদার্থের কেবল দৈর্ঘ্যের হ্রাস বা বৃদ্ধিকে দৈর্ঘ্য-বিকৃতি বলে। অনুরূপ পীড়নকে বলে দৈর্ঘ্য-পীড়ন। দৈর্ঘ্য-বিকৃতি $=\frac{l}{L}$ যেখানে $l=$ দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন, $L=$ মোট দৈর্ঘ্য। এই বিকৃতি অনুপাত মাত্র। ইহার কোন একক নাই। এইরূপ দৈর্ঘ্য-বিকৃতি কেবল সরু কঠিন পদার্থে সম্ভব যথা সরু তার। দেখা গিয়াছে যে পদার্থ দৈর্ঘ্যে সংকুচিত বা প্রসারিত হইলে বলের অভিলম্বে অন্য সব দিকে পদার্থ প্রসারিত হয় বা সংকুচিত হয় অর্থাৎ উল্টা বিকৃতি হয়। স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর মধ্যে এই দৈর্ঘ্য-বিকৃতি ও পার্শ্ব-বিকৃতি সামানুপাতিক হয়। অর্থাৎ $\frac{\text{পার্শ্ব বিকৃতি}}{\text{দৈর্ঘ্য বিকৃতি}}=$ ধ্রুবক, এই ধ্রুবককে **Poissan's ratio** ( পয়সনের অনুপাত ) বলে।

(খ) **Volume or Bulk Strain** ( আয়তন-বিকৃতি ): পীড়নের ফলে আকারের কোন বিকৃতি না ঘটিয়া কেবল আয়তনের বিকৃতি ঘটিলে বিকৃতিকে আয়তন-বিকৃতি বলে। যখন কোন পদার্থের উপর সকল বিন্দুতে সমান বল লম্বভাবে ক্রিয়া করে তখন এইরূপ বিকৃতি ঘটে। অনুরূপ পীড়নকে বলে **আয়তন-পীড়ন**।

আয়তন-বিকৃতি $=\frac{v}{V}$, যেখানে $v=$ আয়তনের পরিবর্তন, $V=$ প্রাথমিক আয়তন। আয়তন পীড়ন অধিক হইলেও কঠিন ও তরলের আয়তন বিকৃতি কম; গ্যাসের বেলায় সামান্য পীড়ন প্রয়োগে আয়তন বিকৃতি বেশী হয়।

কঠিন পদার্থকে তরলে ডুবাইয়া তরলের উপর চাপ দিলে কঠিনের এইরূপ বিকৃতি সম্ভব।

(গ) **Shear Strain** (**আকার-বিকৃতি**): আয়তনের কোন বিকৃতি না ঘটিয়া কেবল আকারের বিকৃতি ঘটিলে বিকৃতিকে **আকার-বিকৃতি** বলে। কেবল কঠিন পদার্থরই এই বিকৃতি ঘটে, কারণ কেবল কঠিনেরই নির্দিষ্ট আকার থাকে।

**20. Hooke's Law** (**হুকের নিয়ম**): এই নিয়ম দ্বারা স্থিতিস্থাপকতা মাপা যায়। স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর ভিতর পীড়ন বিকৃতির সমানুপাতিক হয় অর্থাৎ পীড়ন ∝ বিকৃতি।

$$\therefore \quad \frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}} = \text{ধ্রুবক।} \quad \cdots\cdots(8)$$

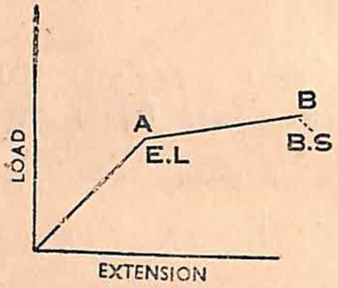
এই সমীকরণ সকল রকম বিকৃতিতে প্রযোজ্য।

এই ধ্রুবক দিয়া স্থিতিস্থাপকতা মাপা যায় বলিয়া ইহাকে পদার্থের **Modulus or Co-efficient of elasticity** (**স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক** বা **স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক**) বলে। ইহা পীড়নের এককে মাপা হয় এবং এক বর্গ সেন্টিমিটারে ডাইন বা এক বর্গ ইঞ্চিতে পাউণ্ড দ্বারা প্রকাশিত হয়। একক বিকৃতি ঘটাইতে যে পীড়নের উদ্ভব হয় তাহাকেও স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক বলে। পূর্বে হুকের নিজের ভাষায় নিয়মটি এইরূপ ছিল বিকৃতি ∝ বল। এই স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক পদার্থের প্রকৃতি, তাপ ও পীড়নের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

একটি পরীক্ষা দ্বারা উপরোক্ত বিষয়গুলি সরল করা যায়। একটি দীর্ঘ তারের নীচে একটি ভারী ওজন (load) ঝুলাইয়া দাও। ওজনের জন্য তারের উপর একটি টান (tension) পড়ে। এই টানের জন্য তার দৈর্ঘ্যে একটু বাড়ে। এই সঙ্গে স্থিতিস্থাপকতা গুণের জন্য তারের মধ্যে একটি প্রতিরোধের সৃষ্টি হয়। তারের দৈর্ঘ্য যত বাড়ে প্রতিরোধও তত বাড়ে। প্রতিরোধ টানের সমান হইলে ইহা সাম্য অবস্থায় আসে। তারটি দৈর্ঘ্যে আর বাড়ে না। এই অবস্থায় তারের বিকৃতি $\frac{l}{L}$ (L = তারের দৈর্ঘ্য, $l$ = দৈর্ঘ্যের

পরিবর্তন) এবং প্রতিরোধ = পীড়ন = $\frac{W}{a}$ ( W = প্রযুক্ত বল = ওজন ; $a$ = তারের প্রস্থচ্ছেদ )।

ওজন তুলিয়া লইলে তারটি পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসে। আবার ওজন ( বল ) বেশী বাড়াইলে তারের দৈর্ঘ্য বাড়ে অর্থাৎ বিকৃতি বাড়ে। বিকৃতি নির্দিষ্ট সীমা অতিক্রম করিলে ওজন তুলিয়া লইলেও তার আর পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসে না। এই সীমাকে স্থিতিস্থাপক সীমা ( চিত্রে E. L. ) বলে। ওজন আরও বাড়াইলে তারের দৈর্ঘ্য পীড়নের তুলনায় বেশী বাড়িতে থাকে, তারপর এমন অবস্থা আসে তার ছিঁড়িয়া যায়। এই অবস্থায় পীড়নকে Breaking Stress ( অসহ পীড়ন, চিত্রে B. S ) বলে এবং ওজনকে Breaking Weight ( অসহ ভার ) বলে। 30নং চিত্রে ছক-কাগজে ওজন ও বিস্তৃতির সম্পর্ক দেখানো হইয়াছে।



30নং চিত্র—ওজন ও বিস্তৃতির ছক

**21. রবার ও ইস্পাতের স্থিতিস্থাপকতা ঃ** স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক = $\frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}$।

অতএব নির্দিষ্ট পরিমাণ বিকৃতি উৎপন্ন করিতে যত বেশী পীড়নের উদ্ভব হইবে অর্থাৎ যত বেশী বাহ্যিক বল লাগিবে স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক তত বেশী হইবে। আমরা পরীক্ষা দ্বারা জানিতে পারি যে একই আকার ও দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট রবারের ও ইস্পাতের দণ্ডের একই পরিমাণ বিস্তৃতি ঘটাইতে ইস্পাত দণ্ডের উপর অনেক বেশী বল প্রয়োগ করিতে হয়। অতএব ইস্পাতের স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক রবারের চেয়ে অনেক বেশী অর্থাৎ ইস্পাত খুব বেশী স্থিতিস্থাপক, রবার ততটা নয়। কাচ ইস্পাতের চেয়েও স্থিতিস্থাপক। রবার, ইস্পাত, কাচ, পিতল, কাঁসা, সীসা প্রভৃতির একই আয়তনের নিরেট বল লইয়া উচ্চস্থান হইতে শক্ত মেঝেতে ফেলিলে দেখা যায় কাচের বল সবচেয়ে বেশী উপরে উঠে।

22. (ক) হুকের নিয়মের সাহায্যে স্প্রীং তুলার অংশাঙ্কন (Graduation): একটি স্প্রীংতুলা লম্বভাবে ঝুলাও। যখন স্প্রীংয়ের শেষ প্রান্তে কোন ভার থাকিবে না তখন নির্দেশক কাঁটার অবস্থানে দাগ দাও। ইহা তুলার শূন্য 0 দাগ। একটি 20 পাউণ্ড ওজন আংটায় ঝুলাও। স্প্রীং নীচের দিকে বিস্তৃত হইবে। কাঁটার নূতন অবস্থানে দাগ দাও। ইহা তুলার 20 পাঃ ওজনের দাগ। হুকের নিয়ম অনুসারে বিস্তৃতি ∝ বল অর্থাৎ সমান (ওজন) সমান বিস্তৃতি উৎপন্ন করে। অতএব 0 দাগ হইতে 20 দাগ পর্যন্ত স্থানকে 20 সমান অংশে ভাগ করিলে প্রত্যেক দাগ 1 পাঃ ওজন নির্দেশ করিবে। স্কেলটিকে 1, 2, 3···20 অংশাঙ্কন কর। বিশ দাগের নীচেও সমান অংশ দাগ কাটিয়া যে কোন ওজনের স্কেল তৈয়ার করা যায়। এখানে মনে রাখিতে হইবে যে, যে ওজনের স্কেল হইবে তাহার সর্বোচ্চ ওজন স্প্রীংএর স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর মধ্যে থাকিবে।

23. **বিভিন্ন স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক**: বিকৃতি যত রকমের, স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক তত রকমের: (ক) Modulus of Vol. Elasticity (**আয়তন-বিকৃতির স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক**): মনে কর কোন পদার্থের উপর সর্বত্র এক একক বর্গক্ষেত্রে (sq. cm) $p$ ডাইন বল লম্বভাবে ক্রিয়া করে এবং মনে কর পদার্থের প্রাথমিক আয়তন $= \mathrm{V}$, আয়তনের পরিবর্তন বা বিকৃতি $= \mathrm{v}$.

$$\therefore \text{ প্রতি একক আয়তনে বিকৃতি} = \frac{\mathrm{v}}{\mathrm{V}}.$$

∴ (স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর মধ্যে) আয়তন-বিকৃতির স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক $k$

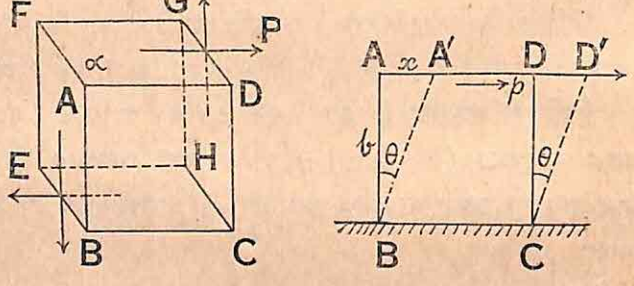
$$= \frac{p}{\frac{v}{\mathrm{V}}} = \frac{p\mathrm{V}}{v} \text{ ডাইন/সেন্টিমিটার}^2 \text{ বা পাউণ্ড ভার/ইঞ্চি}^2. \quad \cdots(9)$$

(খ) আকারের বিকৃতি স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক ও (গ) দৈর্ঘ্যের বিকৃতি স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক। ইহাদের স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক বিষয় পরে বলা হইয়াছে।

**24. Elasticity of Shape or Rigidity (আকারের স্থিতিস্থাপকতা):**

(1) কেবল কঠিন পদার্থেরই নির্দিষ্ট আকার থাকে। সেইজন্য কঠিন পদার্থেরই আয়তন-বিকৃতি না ঘটিয়া আকারের বিকৃতি ঘটিতে পারে।

মনে কর ABCDEFGH একটি আয়তক্ষেত্রিক (rectangular) পদার্থ। আয়তক্ষেত্রের প্রত্যেক পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল $\alpha$। ইহার তল EHBC টেবিলের উপর দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ। মনে কর AD তলের প্রতি একক বর্গক্ষেত্রে $p$ পীড়ন-বল স্পর্শকভাবে (tangentially) ক্রিয়া করিয়া AD তলকে A′D′ অবস্থানে লইয়া আসে। তখন ABCD আয়তক্ষেত্র A′BCD′ রম্বসে (rhombus) পরিণত হয় কিন্তু ABCDর আয়তন ও A′BCD′র আয়তন সমান কারণ AA′ = DD′ অর্থাৎ পদার্থের




31নং চিত্র—আকারের স্থিতিস্থাপকতা

আয়তনের পরিবর্তন না হইয়া আকারের পরিবর্তন হয়। মনে কর $\angle ABA' = \theta = \angle DCD'$, $AA' = x = DD'$ এবং $AB = b$. পীড়ন = প্রযুক্তবল = $p$। আকার বিকৃতি $\theta$ কোণ দিয়া মাপা হয়। এই কোণকে angle of shear (কৃন্তন কোণ) বলে। $\therefore$ আকার-বিকৃতি $= \theta = \tan\theta$ ($\because$ $\theta$ খুব ক্ষুদ্র)

$$= \frac{x}{b} = \frac{\text{বস্তুর দুই তলে আপেক্ষিক সরণ (displacement)}}{\text{দুই তলের দূরত্ব}} = \text{একক দূরত্বে}$$

অবস্থিত দুই তলের আপেক্ষিক সরণ অর্থাৎ দুই তল AD ও BC একক দূরত্বে

থাকিলে যতটা সরে তাহাই হইল আকার বিকৃতি। ইহাই সরণের বিকৃতি ( displacement gradients )।

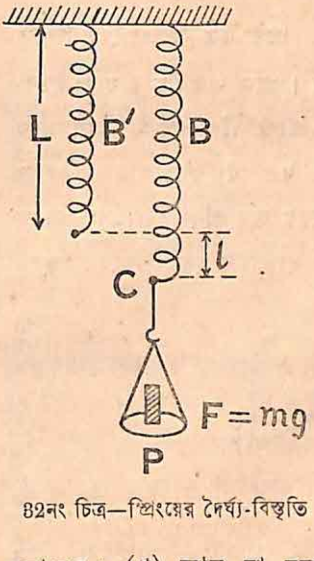
∴ **Rigidity modulus** (আকার বিকৃতির বা দৃঢ়ত্ব স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক)

$$\gamma=\frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}=\frac{p}{\frac{x}{b}}=\frac{pb}{x}\quad\cdots(10)$$

( স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর মধ্যে )

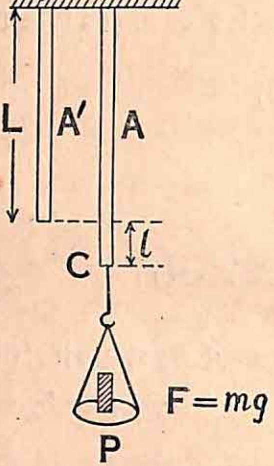
যদি মোট বল P হয় তবে $p=\frac{P}{\alpha}$ হইবে।

(2) বিভিন্ন আকার-বিকৃতি : কঠিন পদার্থকে (ক) বাঁকাইয়া (bending or by flexure), (ঘ) ঘুরাইয়া বা মোচড় দিয়া (twisting or by torsion), (গ) টানিয়া (stretching or by tension) ইহার আকার-বিকৃতি ঘটানো যায়। দৃষ্টান্ত : (ক) সোজা তক্তা বা দণ্ড বল-প্রয়োগে বাঁকিয়া যায়। বল সরাইলে ইহা পূর্ব অবস্থায় ফিরিয়া আসে। ঘড়ির স্প্রীং, ধনুক, গাড়ীর স্প্রীং—বাঁকানো স্থিতিস্থাপকতার উদাহরণ। (খ) ঝুলান তারে একটি বল বাঁধিয়া বলকে ঘুরাইয়া ছাড়িয়া দিলে ইহা কয়েকবার পাক খাইয়া পূর্ব অবস্থায় ফিরিয়া আসে। চৌম্বক বল, তড়িৎ বল মাপ করিবার জন্য তারের এই গুণের ব্যবহার করা হয়। (গ) তার বা রবারকে টানিলে বড় হয়।



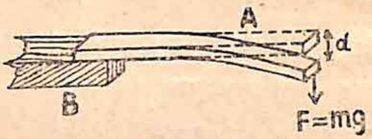

32নং চিত্র—স্প্রিংয়ের দৈর্ঘ্য-বিস্তৃতি

**প্রসারণের দৃষ্টান্ত** (i) 32নং চিত্রে একটি স্প্রিং (B) 33নং চিত্রে একটি সোজা তার (A) দেখানো হইয়াছে। উভয়ের নিম্নদিকে একটি পাল্লায় (P) ভার $m$ ঝোলানো আছে। উভয়ের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য L. মনে কর পাল্লায় ভর রাখিবার পর দৈর্ঘ্য $l$ বাড়িল। প্রসারণ সৃষ্টকারী পীড়ন $F = mg$. হুকের সূত্রানুযায়ী $l \propto F$.



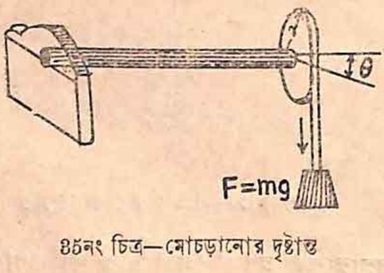

33নং চিত্র—তারের দৈর্ঘ্য-বিস্তৃতি

**বাঁকাইবার দৃষ্টান্ত :** (34) নং চিত্রে A দণ্ডের এক প্রান্ত একটি দৃঢ় অবলম্বনের Bএর সহিত আটকানো আছে। অন্য প্রান্তে চাপানো আছে $m$ ভর। ইহা নিম্নদিকে F $(=mg)$ বল প্রয়োগ করে। মনে কর ইহার ফলে ইহার মুক্ত প্রান্ত $d$ দূরত্ব নামিয়া যায় এবং দণ্ড বাঁকিয়া যায়। দণ্ডের উপরের স্তর প্রসারিত এবং নিম্নের স্তর সংকুচিত হয়। মধ্যের স্তর-




34নং চিত্র—বাঁকাইবার দৃষ্টান্ত

গুলির কোন বিকৃতি ঘটে না (neutral surface)। হুকের নিয়মানুসারে $d \propto F$.




35নং চিত্র—মোচড়ানোর দৃষ্টান্ত

**মোচড়ানোর দৃষ্টান্ত :** 35নং চিত্রে A দণ্ডের এক প্রান্ত B দৃঢ় অবলম্বনের সহিত আটকানো আছে। মুক্ত প্রান্তে দণ্ডের স্পর্শক বরাবর একটি বল F $(=mg)$ প্রযুক্ত হইল। এই পীড়নের ফলে দণ্ডটি $\theta$

কোণে মোচড় খাইয়াছে। হুকের নিয়মানুসারে কৌণিক সরণ $\theta$ মোচড় সৃষ্টিকারী টর্কের ( torque ) সহিত সমানুপাতিক হয়। $\theta \propto F \times r \propto mgr.$

**25. Young's Modulus ( ইয়াংস স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক ) :** এমন কঠিন পদার্থ যাহা দৈর্ঘ্যে খুব বড় যথা সরু তার বা দণ্ডের এক প্রান্ত আবদ্ধ করিয়া অপর প্রান্তে ভার চাপাইয়া ইহাকে লম্বালম্বি টানিলে ইহার দৈর্ঘ্য-বিকৃতি খুব বেশী হয়। আকার ও আয়তনের বিকৃতি খুব কম হয়। এইরূপ স্থিতিস্থাপিতাঙ্ককে Young's Modulus বলে। মনে কর L দৈর্ঘ্য ও A প্রস্থচ্ছেদ ( cross section ) বিশিষ্ট তারের উপর ˋ বল ক্রিয়া করিয়া উহার দৈর্ঘ্য $l$ পরিমাণ বাড়াইয়া দেয়। অতএব দৈর্ঘ্য-বিকৃতি = প্রতি একক দৈর্ঘ্যের বিকৃতি $= \frac{l}{L}$.

দৈর্ঘ্য-পীড়ন = প্রতি একক ক্ষেত্রফলের ( area ) উপর বল =

$$\frac{P}{A} = \frac{P}{\pi r^2} (r = \text{তারের ব্যাসার্ধ})$$

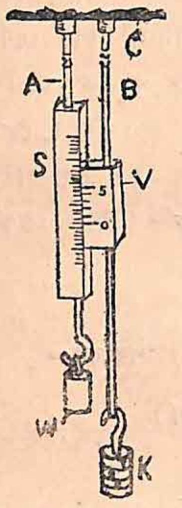
$$\therefore \text{ ইয়াংস স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক} = \frac{\text{দৈর্ঘ্য-পীড়ন}}{\text{দৈর্ঘ্য-বিকৃতি}} = \frac{\frac{P}{\pi r^2}}{l/L} = \frac{PL}{\pi r^2 l} \text{ ডাইন/বর্গ সেঃ মিঃ}^2$$

( স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর মধ্যে ) বা পাউণ্ড-ভার/ইঞ্চি$^2$ ...(11)

"ইস্পাতের ইয়াংস স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক $2 \times 10^{12}$ ডাইন প্রতি বর্গ সেঃ মিঃ"— এই উক্তির অর্থ যে ইস্পাতের তারে একক দৈর্ঘ্য-বিকৃতি ঘটাইতে $2 \times 10^{12}$ ডাইন/প্রতি বর্গ সেঃ মিঃ বল প্রয়োগ করা প্রয়োজন।

**26. ইয়াংস স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক নিরূপণ :** (ক) যে পদার্থের স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক নিরূপণ করিতে হইবে সেই পদার্থের দুইটি লম্বা সমান মোটা তার A ও B একই জায়গা C হইতে পাশাপাশি ঝুলানো হয়। (খ) A তারের শেষ প্রান্তে একটি নির্দিষ্ট ভার W দেওয়া হয় যাহাতে তারে কোন খাঁজ বা মোচড় ( kinks ) না থাকে এবং ইহা সম্পূর্ণ সোজা থাকে। ইহাতে S একটি স্থির স্কেল থাকে। B তারে একটি ভার্নিয়ার V থাকে। ভার্নিয়ারটি স্কেলের গা

বরাবর চলিতে পারে। B তারের নিম্নপ্রান্তে ভার চাপানোর জন্য K ব্যবস্থা থাকে। A তারের দৈর্ঘ্য অপরিবর্তিত রাখিয়া B তারের দৈর্ঘ্যের বিকৃতি মাপা হয়। সেইজন্য A তারকে নির্দিষ্ট তার ( reference wire ) বলে এবং B তারকে পরীক্ষাধীন তার ( experimental wire ) বলে। (গ) প্রথমে



36নং চিত্র—ইয়াংস-স্থিতিস্থাপতাঙ্ক নির্ণয়

প্রয়োজনমত ভার দিয়া দুই তারকে সোজা করা হয়, যাহাতে তারে কোন মোচড় বা খাঁজ না থাকে। (ঘ) B তারের ভার্নিয়ার সরাইয়া স্কেলের পাশাপাশি রাখ, স্কেলে ভার্নিয়ারের O শূন্য দাগের পঠন ( reading ) লও। (ঙ) বিলম্ব-বিন্দু হইতে ভার্নিয়ারের শূন্য পর্যন্ত B তারের দৈর্ঘ্য মাপ। তারের প্রত্যেক স্থানে সমকোণে দুই বার স্ক্রু-গেজ দিয়া ব্যাস মাপ। এইরূপ তারের বিভিন্ন স্থানে ব্যাস বাহির করিয়া গড় ব্যাস বাহির কর। গড় ব্যাসকে দুই দিয়া ভাগ করিয়া ব্যাসার্ধ ($r$) বাহির কর। (চ) তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $= \pi r^2$ বর্গঃ সেঃ মিঃ। এখন প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলকে তারের দ্রব্যের ( material ) সহন পীড়ন ( breaking stress ) দিয়া গুণ করিলে সহনভার ( breaking weight ) পাওয়া যাইবে। কার্যতঃ B তারের প্রান্তে Kতে সর্বোচ্চ ওজন কোন মতেই এই সহনভারের অর্ধেকের বেশী রাখা হয় না। ইহাই হইল স্থিতিস্থাপকতার সীমা। পরীক্ষার গোড়ায় B তারের প্রান্তে সহনভারের অর্ধেক ওজন রাখা হয়। তারকে সোজা করিয়া লইবার জন্য এরপর কিছু ওজন রাখিয়া অন্য সবগুলি নামাইয়া লও। (ছ) B তারের শেষে Kতে পর পর একই ওজনের বাটখারা চাপাইয়া যাও এবং কিছুক্ষণ অপেক্ষা করিবার পর প্রত্যেক বারের ভার্নিয়ারের O ডিগ্রির সরণ লিখিয়া রাখ। এই সরণই তারের দৈর্ঘ্য বিকৃতির মাপ। অন্ততঃ পাঁচবার এইরূপে

ভার চাপাও। প্রত্যেক বার ভার্নিয়ারের O ডিগ্রির সরণ লিখিয়া রাখ। (জ) এইবার এক এক করিয়া ভার নামাইয়া যাও এবং প্রত্যেক বার ভার্নিয়ারের O ডিগ্রির সরণ লিখিয়া রাখ। ভার্নিয়ারের দুই প্রস্থ পঠন মিলিবে; একই ভারের জন্য বিকৃতির গড় বাহির কর। মনে কর তারের দৈর্ঘ্য $=L$ সেঃ মিঃ, গড় ব্যাসার্ধ $=r$ সেঃ মিঃ, গড় বিকৃতি $=l$ সেঃ মিঃ, গড় ভার (load) $=M=$ গ্রাম।

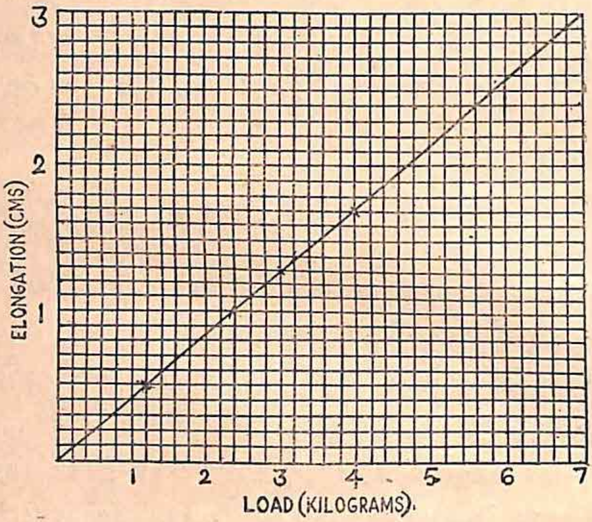
∴ ইয়াংস স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক $(Y)=\frac{Mg}{\pi r^2}\cdot\frac{L}{l}$ ডাইন প্রতি বর্গ সেণ্টিমিটার ··· (12)

দুইটি তার একই পদার্থে গঠিত বলিয়া উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধিতে ইহাদের হ্রাস-বৃদ্ধি সমান হইবে। বিভিন্ন পদার্থের তার লইয়া উপরোক্ত প্রক্রিয়ায় বিভিন্ন পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা তুলনা করা যায়। একই বিকৃতি উৎপন্ন করিতে যদি ইস্পাতের তারের 10 কিলোগ্রাম ভার দরকার হয় তবে একই প্রকারের তামার তারের 6 কিলোগ্রাম, পিতলের তারের 4·5 কিলোগ্রাম, প্লাটিনাম তারের 8 কিলোগ্রাম দরকার হবে, সুতরাং ইস্পাত তামার চেয়ে 1·7 গুণ স্থিতিস্থাপক।

27. **Breaking Weight ( সহনভার )**ঃ ভার ক্রমশঃ বাড়াইলে বিকৃতি বাড়িয়া যাইবে। ভার খুব বেশী বাড়াইতে থাকিলে ভারের একটি মানে তার স্থিতিস্থাপকতার গণ্ডীর সীমা অতিক্রম করিয়া ছিঁড়িয়া যাইবে। এই অবস্থায় ভারের মানকে বলে **সহনভার**। ইহা তারের সংশক্তির ( Tenacity ) মাপ। একক প্রস্থচ্ছেদের ( unit cross-section ) তারের সহনভারকে **সহনপীড়ন** (Breaking Stress) বলে ; সুতরাং কোন তারের সহনভার = সহনপীড়ন × প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল।

28. **হুকের নিয়মের সত্যতা নিরূপণ**ঃ যদি ভারকে কোটি ( ordinate ) ও বিকৃতিকে ভুজ ( abscissa ) স্থির করিয়া লেখ ( graph ) টানা হয় তবে স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর মধ্যে লেখটি সরলরেখা হইবে। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে হুকের নিয়ম সত্য। যখন তারে কোন ভার

থাকে না তখন তার বিকৃতিশূন্য হয় এবং লেখ মূলবিন্দু ( origin ) দিয়া অতিক্রম করে।




37নং চিত্র—হুকের নিয়মের ছক

অঙ্ক : 1. A copper wire 2 metres long and 0·5 mm in diameter supports a mass of 3 Kgm and it thereby stretches by 2·338 m.m. Calculate Y. (C. U. 1942)

$$Y = \frac{Mg\,L}{\pi r^2 l} = \frac{3 \times 1000 \times 981 \times 2 \times 100}{\pi \times (0{\cdot}025)^2 \times (0{\cdot}2338)} = 12{\cdot}9 \times 10^{11}$$ ডাইন/বর্গ সেঃ মিঃ।

2. A uniform steel wire of density 7 8 gm per c.c. weighs 16 gm and is 250 c.m. long. It lengthens by 1·2 mm when stretched by a force of 8 Kgm. weight. Calculate the value of Young's modulus. (G. U. 1953)

মনে কর তারের প্রস্থচ্ছেদ $a$ বর্গ সেঃ মিঃ $\therefore$ তারের আয়তন $= 250 \times a$ ঘঃ সেঃ মিঃ।

ভর = আয়তন × ঘনত্ব $\therefore$ 16 গ্রাম $= 250 \times a \times 7{\cdot}8$

$\therefore \quad a = \dfrac{16}{250 \times 7{\cdot}8}$ বঃ সেঃ মিঃ

পীড়ন $= \dfrac{\text{বল}}{\text{প্রস্থচ্ছেদ}} = \dfrac{8 \times 1000 \times 981 \times 250 \times 7{\cdot}8}{16}$ ডাইন/বর্গ সেঃ মিঃ

বিকৃতি প্রতি একক দৈর্ঘ্যে $= \dfrac{0{\cdot}12}{250}$.

$$\text{Y} = \frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}} = \frac{8 \times 1000 \times 981 \times 250 \times 7{\cdot}8}{16 \times 0{\cdot}12} \text{ ডাইন/বর্গ সেঃ মিঃ}$$

$$= 1{\cdot}993 \times 10^{12} \text{ ডাইন/বর্গ সেঃ মিঃ}$$

3. A mass of 20 Kgms suspended from one end of a copper wire 300 cm long elongates it by 6 mm. If the radius of the cross section of the wire be 0·5 mm, what is its Young's modulus ?

এখানে তারের দৈর্ঘ্য L = 300 সেঃ মিঃ ও দৈর্ঘ্য-বিকৃতি $l = 6$ মিঃ মিঃ $= 0{\cdot}6$ সেঃ মিঃ, $r = 0{\cdot}5$ মিঃ মিঃ $= 0{\cdot}05$ সেঃ মিঃ

প্রস্থচ্ছেদ $a = \pi^2 = \pi(0{\cdot}5)^2$ বর্গ সেঃ মিঃ

$$\text{Y} = \frac{mg\text{L}}{a.l} = \frac{20 \times 1000 \times 980 \times 300}{\pi\,(0{\cdot}05)^2 \times 0{\cdot}6}$$

$$= \frac{20 \times 1000 \times 980 \times 300}{3{\cdot}14 \times ({\cdot}05)^2 \times 0{\cdot}3}$$

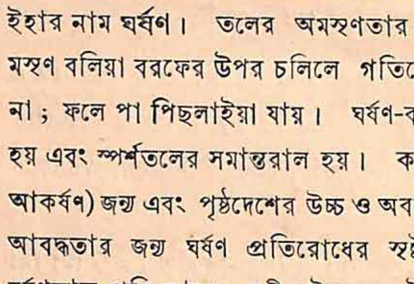
$$= 1{\cdot}3 \times 10^{12} \text{ ডাইন/বর্গ সেঃ মিঃ}$$

# তৃতীয় অধ্যায়

## Friction ( ঘর্ষণ )

**29. Friction ( ঘর্ষণ ) :** যে বল কোন পদার্থের গতিকে কমাইয়া দেয় বা তাহাকে গতিশূন্য করে সেই বলকে **বাধা** বা **প্রতিরোধ** (resistance) বলে। মাটির উপর দিয়া কোন পদার্থ টানিলে, বায়ু প্রবাহের বিপরীত দিকে যাইলে, জলে নৌকা চলিলে মাটি, বায়ু ও জল পদার্থের গতিকে বাধাপ্রদান করে। একটি পদার্থ Aএর উপর দিয়া অপর একটি পদার্থ B টানিলে স্পর্শতলে (surface of contact) B-এর গতিরোধক একটি বলের উদ্ভব হয় ; ইহার নাম **ঘর্ষণ**। তলের অমসৃণতার জন্য এই বলের উদ্ভব হয়। বরফ মসৃণ বলিয়া বরফের উপর চলিলে গতিরোধক কোন ঘর্ষণ-বলের উদ্ভব হয় না ; ফলে পা পিছলাইয়া যায়। ঘর্ষণ-বলের অভিমুখ গতির বিপরীত দিকে হয় এবং স্পর্শতলের সমান্তরাল হয়। কঠিন তলদ্বয়ের আসঞ্জন ( পারস্পারিক আকর্ষণ) জন্য এবং পৃষ্ঠদেশের উচ্চ ও অবনত অংশের ( খাঁজের ) পারস্পারিক আবদ্ধতার জন্য ঘর্ষণ প্রতিরোধের সৃষ্ট হয়। গতিসৃষ্টিকারী প্রযুক্ত বল ঘর্ষণজাত প্রতিরোধের বেশী হইলে তবেই বস্তু চলিতে আরম্ভ করে।

**30. ঘর্ষণের প্রকার : (ক) সীমাস্থ ঘর্ষণ** ( Limiting Friction ) : টেবিলের উপর একখান ইট C রাখ। ইটের উপর দুইটি বল ক্রিয়া করে। ইটের ওজন W লম্বভাবে নীচের দিকে ক্রিয়া করে, টেবিলের প্রতিক্রিয়া R উপরের দিকে ক্রিয়া করে। যতক্ষণ ইট স্থির থাকিবে ততক্ষণ W = R হয়। এখন মনে কর টেবিলের তলের সমান্তরালে ইটের উপর সামান্য বল P প্রয়োগ করা হইয়াছে। সঙ্গে সঙ্গে ইট ও টেবিলের স্পর্শতলে একটি ঘর্ষণ-বলের উদ্ভব হইবে। ইহা ইটের গতিকে বাধা দিবে। মনে কর F = ঘর্ষণ-বল। একটি নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত P বাড়াইলে একই




৩৪নং চিত্র—ঘর্ষণের পরীক্ষা

হারে F বাড়িবে এবং সব সময়েই $P = F$ হইবে। অতএব দেখা যায় যে F একটি স্বয়ং নিয়ন্ত্রিত ( self-adjusting ) বল। যতক্ষণ ইটটি স্থির থাকে ততক্ষণ $W = R$ এবং $P = F$ হয়। P এই নির্দিষ্ট সীমা অতিক্রম করিলে F আর বাড়িবে না অর্থাৎ গতিরোধক বাধা কম হইবে। ইট Pএর অভিমুখে চলিবে। ইট চলিবার ঠিক পূর্ব মুহূর্তের ঘর্ষণের পরিমাণকে **সীমাস্থ ঘর্ষণ** বলে।

(খ) যখন ইট নড়িতে আরম্ভ করে তখন ইটের বেগের মাত্রাকে অব্যাহত রাখার জন্য সীমাস্থ ঘর্ষণের চেয়ে একটু কম ঘর্ষণ দরকার হয়। ইহাকে **বিসর্প** বা **গতীয় ঘর্ষণ** ( Sliding বা Dynamic friction ) বলে।

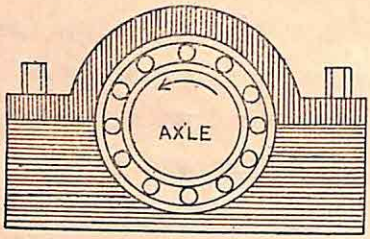
**31. ঘর্ষণের নিয়ম :** (ক) ঘর্ষণের অভিমুখ গতির অভিমুখের বিপরীত হয়। (খ) ঘর্ষণের পরিমাণের সহিত অভিলম্ব বলের ( normal reaction ) অনুপাত ( ratio ) ধ্রুবক ( constant ) হয়। (গ) এই অনুপাত দুইটি স্পর্শ-তলের সামগ্রী ও প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। ইহা ইহাদের আকৃতি বা বিস্তৃতির উপর নির্ভর করে না। এই ধ্রুবক অনুপাতকে **ঘর্ষণাঙ্ক** ( Coefficient of Friction ) বলে। ∴ যদি সীমাস্থ ঘর্ষণ $= F$, অভিলম্ব বল $= R$ হয় তবে

$$\text{ঘর্ষণাঙ্ক } \mu = \frac{F}{R}. \quad \cdots (13)$$

**32. ঘর্ষণের উপকারিতা ও অপকারিতা :** ঘর্ষণ-বলের উদ্ভব না হইলে রেলের উপর দিয়া এঞ্জিন গাড়ী টানিতে পারিত না। আমরা মাটির উপর দিয়া হাঁটিতে পারিতাম না, পা পিছলাইয়া যাইত, দেওয়ালে পেরেক পুঁতিতে পারিতাম না, গাছে উঠিতে পারিতাম না, দড়িতে গিট দিতে পারিতাম না। বরফ বা শেওলা মসৃণ বলিয়া ইহাদের ঘর্ষণ-বল প্রায় থাকে না। ইহাদের উপর চলিতে গেলে পা পিছলাইয়া যায়। যন্ত্রপাতির বেগ-বৃদ্ধির জন্য ঘর্ষণ-বল নানা উপায়ে কমানো হয়। যন্ত্রের চাকায় তৈল, ভেসলিন, চর্বি দেওয়া হয় ; ঘর্ষণ কমাইবার জন্য লোহার মসৃণ রেলের উপর দিয়া ট্রেন, ট্রাম চালানো হয় এবং গাড়ীতে গোলাকার চাকা থাকে। গাড়ীর চাকায়

রবারের বেড় দেওয়া হয়। তুলাযন্ত্রে এ্যাগেটের ক্ষুরধার ( Knife-edge ) এবং ঘড়িতে jewel ব্যবহার করা হয়।

যখন একটি পদার্থ অপর পদার্থের উপর দিয়া সরিয়া চলে ( slides ) তখন **বিসর্প ঘর্ষণের** উদ্ভব হয়। মাটির উপর দিয়া কোন পদার্থ টানিলে ইহার উদ্ভব হয়। কোন গোল পদার্থ অন্য কোন পদার্থের উপর দিয়া গড়াইয়া চলিলে বা গড়াইয়া যাইবার উপক্রম করিলে আবর্তন-ঘর্ষণের ( Rolling friction ) উদ্ভব হয়। মেঝের উপর মার্বেল গড়াইয়া যাওয়া, মাটির উপর ফুটবল গড়াইয়া যাওয়া, চাকার উপর গাড়ীর গমন—আবর্তন-ঘর্ষণের দৃষ্টান্ত। আবর্তন-ঘর্ষণ বিসর্প ঘর্ষণের চেয়ে কম। সেইজন্য কাজের সুবিধার জন্য বিসর্প ঘর্ষণকে আবর্তন-ঘর্ষণে পরিণত করা হয়। স্থানান্তরের




39নং চিত্র—শক্ত স্টীলের বল দ্বারা ঘর্ষণ কমানো হয়।

সুবিধার জন্য বড় বড় আসবাবপত্রের নীচে ছোট চাকা লাগানো থাকে। গাড়ীকে চাকার উপর বসানো হয়। বাই-সাইকেলের চাকার অক্ষের ( axle ) চারিধারে শক্ত ষ্টীলের বল ( ball-bearing ) রাখিয়া ঘর্ষণ কমানো হয়। স্থির কঠিনের গায়ের উপর দিয়া তরল বা গ্যাসীয় পদার্থ প্রবাহিত হইলে বা কোন কঠিন বস্তু তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের মধ্য দিয়া চলিলে যে ঘর্ষণ উৎপন্ন হয় তাহাকে **তরলের বা গ্যাসীয় ঘর্ষণ** বলে। জলের মধ্য দিয়া জাহাজ চলিলে বা বায়ুর মধ্য দিয়া উড়োজাহাজ চলিলে তখন এইরূপ ঘর্ষণ দেখা যায়।

## প্রশ্ন

### ( প্রথম, দ্বিতীয় ও তৃতীয় অধ্যায় )

1. উপযুক্ত লেখচিত্র দ্বারা রাশিগুলি প্রকাশ কর :—

(*a*) $u=12$ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে এবং $f=6$ ফুট/সেকেণ্ড$^2$ হইলে সময়ের সহিত সরণের লেখচিত্র আঁক।

(*b*) $u=0$, $f=5$ ফুট/সেকেণ্ড$^2$ হইলে $s$ ও $t$-এর সম্পর্ক লেখচিত্র দ্বারা বাহির কর। ইহা হইতে সেকেণ্ডের শেষে ইহার বেগ বাহির কর।

(*a*) Draw a suitable graph to indicate a rectilinear motion with $u=12$ ft/second and $f=6$ ft/second$^2$.

(*b*) Draw a graph to indicate the relation between $s$ and $t$ if $f=5$ ft/second$^2$ and $u=0$. From the graph find the velocity at the end of 3 secs.

2. A body starting with a velocity of 4 ft/sec and moving with an acceleration of 8 ft/sec$^2$ passes 40 ft in a particular second. Find that second.

( Ans. 5th. sec. )

3. A body of mass 6 lbs is acted upon by a force of 30 poundals. Find its velocity and momentum at the end of half a minute.

( Ans. 150 ft. per sec. ; 900)

4. A 4 oz. weight is suspended from a spring balance which is carried in a baloon. What will be its apparent weight as shown by the index ? (*a*) When the balloon is ascending with an uniform acceleration of 8 feet per second. (*b*) When it is descending with an acceleration of 16 ft. per second.

[ Ans. (*a*) 5 oz. (*b*) 2 oz. ]

5. A balloon ascends with a constant acceleration of 1 ft/sec$^2$. Find how many seconds per hour a clock carried with it will gain.

( Ans. 56 secs. per hour )

6. A force equal to the weight of one pound acts upon a ton. What acceleration is produced and what would be the velocity at the end of ten seconds ? ( Ans. 1/70 ; $\frac{1}{7}$ ).

7. A train travelling with a speed of 60 miles per hour applying brakes acquires a retardation. What would be its speed after 10 sec ? How long after would the train come to rest ? ( Ans. 48 ft/sec ; 22 sec. )

8. $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$—এই সমীকরণ বীজগণিত ও লেখচিত্রের সাহায্যে প্রমাণ কর।

Prove algebraically and graphically the equation $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$.

9. A body starts with a velocity of 15 ft./sec. and moves with an acceleration of 6 ft/sec$^2$. How far it with go in the 5th second. ( Ans. 42 ft. )

10. নীচের তালিকা সম ত্বরণ অনুসারে প্রস্তুত হইয়াছে—তালিকার শূন্যস্থানগুলি পূরণ কর :—

| প্রাথমিক বেগ | শেষ বেগ | ত্বরণ | সময় | দূরত্ব |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 60 ফুট/সেঃ | — | 5 মিঃ | |
| 32 ফুট/সেঃ | — | 2 ফুট/সেঃ$^2$ | 10 সেঃ | |
| 16 ফুট/সেঃ | | 4 ফুট/সেঃ$^2$ | 10 সেঃ | — |
| 0 | 80 সেঃ/মিঃ/সেঃ | — | | 22 মিঃ |

11. A motor car of mass 400 lbs is running at 30 miles/hr. velocity. It was brought to rest within a distance of 60 ft. by applying brakes. What force acted on the car? (Ans. 9680 pounds).

12- ইয়াংস স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক কাহাকে বলে? ইস্পাতের স্থিতিস্থাপিতাঙ্ক $2\times10^{12}$ ডাইন / সেঃ মিঃ$^2$—ইহার অর্থ কি? ইহা কি প্রকারে বাহির হয় পরীক্ষা দ্বারা বর্ণনা কর।

What is Young's modulus of elasticity? What is meant by the statement "Young's modulus for steel is $2\times10^{12}$ dynes sq. cm$^2$. How would you determine it experimentally?

13, An iron wire 2 metres in length and 1 mm. in diameter is stretched by a weight of 8 kgm. suspended from one end. If the Young's modulus of iron be $1{\cdot}995\times10^{12}$ dynes/sq. cm. what elongation will it produce?

(Ans. 1 mm.)

14. What force is required to stretch a steel wire of 1 sq. cm. in cross-section to double its length? $Y$ of steel$=2\times10^{12}$ dynes/sq$^2$.

(Ans. $2\times10^{12}$ dynes)

## চতুর্থ অধ্যায়

# Work ( কার্য ), Power ( ক্ষমতা ) ও Energy ( শক্তি )

33. কার্য—সাধারণ ভাষায় আমরা 'কাজ' কথাটা নানা অর্থে ব্যবহার করিয়া থাকি। যথা,—আমার অনেক 'কাজ' আছে। তুমি কোন 'কাজের' লোক নও। কিন্তু 'বল-বিত্থায়' 'কার্য' বা 'কাজ' কথাটি একটি বিশেষ অর্থে ব্যবহৃত হয়। কার্যের সঙ্গে বলের ও গতির একটি নিকট সম্পর্ক আছে। কোন বস্তুর উপর বল-প্রয়োগ করিলে তিনটি ঘটনা ঘটিতে পারে :—

(ক) কোন বস্তুর উপর বল-প্রয়োগ করিলে বলের প্রয়োগবিন্দু ( point of application of force ) যখন বলের ক্রিয়ার অভিমুখে সরিয়া যায় তখন বলা হয় যে, প্রযুক্ত **বলের দ্বারা** কার্য হইতেছে। ঘোড়া গাড়ী টানিলে, মানুষ বোঝা তুলিলে, এঞ্জিন ট্রেন টানিলে ইহারা কার্য করে। প্রত্যেক ক্ষেত্রে বলের ( টানের ) অভিমুখে বস্তুগুলি সরিয়া যায়। এখানে বলের দ্বারা কার্য সম্পাদিত হইতেছে।



40নং চিত্র—মানুষটি পাথর ঠেলিল, পাথর নড়িল না, কার্যও হইল না।

(খ) যখন প্রয়োগবিন্দু বলের ক্রিয়ার বিপরীত দিকে সরিয়া যায় তখন বলা হয় প্রযুক্ত **বলের বিরুদ্ধে** কার্য করা হইতেছে। মানুষ যখন বোঝা তোলে তখন সে অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে কার্য করে। ঘোড়া যখন গাড়ী টানে তখন সে ঘর্ষণ-বলের বিরুদ্ধে কার্য করে। প্রযুক্ত বল কোন একটি সম্পূর্ণ বা ইহার অংশ মাত্র হইতে পারে।

(গ) বল প্রয়োগ করিলেও যদি প্রয়োগবিন্দু না সরে তবে কোন কার্য হয় না। মনে কর, একটা মোটা পাথরকে এক ঘণ্টা যাবৎ যথাশক্তি ঠেলিতে

চেষ্টা করিলে, ইহা সরিল না ; এখানে তুমি কোন কার্য করিলে না, যদিও তুমি বল প্রয়োগ করিলে।*

**34. কার্যের মাপ :** (ক) মনে কর একটি লোক 10 সের ওজন 20 ফুট তুলিল, দ্বিতীয় লোক 10 সের ওজন 40 ফুট তুলিল। কে অধিক কার্য করিল ? নিশ্চয়ই দ্বিতীয় ব্যক্তি। আবার একটি লোক 10 সের ওজন 20 ফুট তুলিল, দ্বিতীয় ব্যক্তি 20 সের ওজন 20 ফুট তুলিল। কে অধিক কার্য করিল ? নিশ্চয়ই দ্বিতীয় ব্যক্তি সুতরাং কার্যের পরিমাণ প্রযুক্ত বল ও বস্তু যতটা সরে উহার উপর নির্ভর করে। প্রয়োগ-বিন্দু যতটা সরে সেই দূরত্বের ও বলের গুণফলই কার্যের পরিমাণ। **কার্য=প্রযুক্ত বল×প্রয়োগ-বিন্দুর অপসারিত দূরত্ব।** যদি কোন বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল P প্রয়োগ-বিন্দু A-কে বলের দিকে B পর্যন্ত S দূরত্ব সরাইয়া লইয়া যায় এবং কার্য যদি W হয় তবে

$$W = P.\ S. \cdots\cdots (1).$$

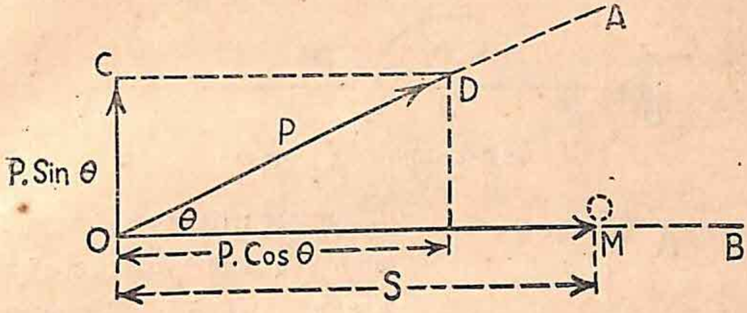
প্রয়োগ-বিন্দু না সরিলে S=O হয়, সুতরাং W=P.O=O হয়, অর্থাৎ প্রয়োগ বিন্দু না সরিলে কোন কার্য হয় না।

(খ) কোন বিন্দুর উপর একাধিক বল ক্রিয়া করিলে বিন্দুটি কোন একটি বিশেষ বলের অভিমুখে যায় না। মনে কর, P বল O বিন্দুর উপর OA অভিমুখে ক্রিয়া করে এবং অন্য একটি বল ক্রিয়া করিতে থাকায় বিন্দুটি OB অভিমুখে M পর্যন্ত যায়। মনে কর, সরণের অভিমুখ OM ও বলের অভিমুখ OA-এর মধ্যবর্তী কোণ=$\theta$. Pকে OB অভিমুখে ও তাহার

---

* এই দৃষ্টান্তে পাথর নড়িল না, কোন কার্য হইল না কিন্তু তুমি পরিশ্রান্ত হইলে কেন ? পাথরের উপর যত বল প্রয়োগ করিলে পাথরও প্রতিক্রিয়া স্বরূপ তোমার উপর সমান বল প্রয়োগ করিল। এই প্রতিক্রিয়া প্রতিরোধ করিতে তোমার মাংসপেশীকে বারবার প্রসারিত ও সংকুচিত করিতে হয়। ইহাতে দেহের ভিতরেই অঙ্গ-প্রত্যঙ্গের আপেক্ষিক অপসারণ দ্বারা কার্য হয়। ইহাতে শক্তি ক্ষয় হয়।

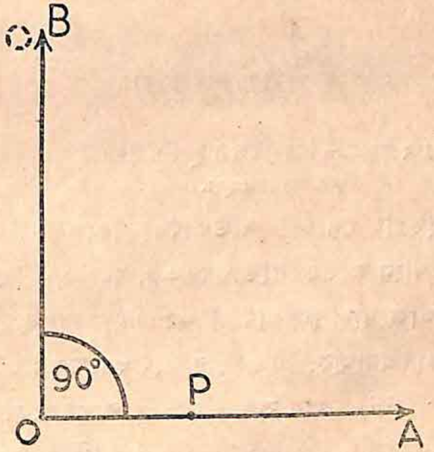
লম্বদিকে OC অভিমুখে যথাক্রমে $P \cos \theta$ ও $P \sin \theta$ দুইটি উপাংশে (component) ভাগ কয়া যায় ( 41নং চিত্র )।




41নং চিত্র—P দ্বারা কৃত কার্য P. S. Cos θ

P-র পরিবর্তে এই দুইটি বল ক্রিয়া করিতেছে ধরিয়া লইতে পারি। $P \cos \theta$ বলের ক্রিয়ার অভিমুখে সরণ OM = S. এই উপাংশ দ্বারা কৃত কার্য $= S \times P \cos \theta$; $P \sin \theta$ উপাংশ দ্বারা কৃত কার্য = 0, কারণ এই দিকে বিন্দু সরে না। ∴ সরণ = 0. সুতরাং P বল দ্বারা মোট কৃতকার্য = $P. S. \cos \theta$ ·· (2).

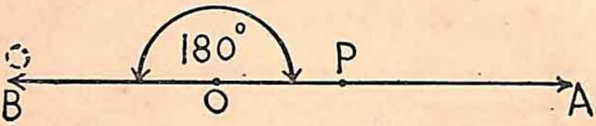
( গ ) 2 নং সমীকরণে $\theta = 90°$ হইলে $\cos \theta = 0$ হয়, সুতরাং W = 0 হয় অর্থাৎ P বলের ক্রিয়া-রেখার ( line of action) সমকোণে OB অভিমুখে O বিন্দুটি সরিলেও এই বল OB অভিমুখে কোন কার্য করে না। বলের সমকোণে বলের কোন উপাংশ থাকে না।



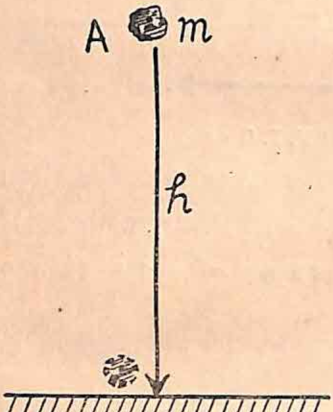

42নং চিত্র—P বল OB অভিমুখে কার্য করে না।

(ঘ) 2 নং সমীকরণে $\theta = 180°$ লইলে $\cos \theta = -1$ এবং $W = P \times S$ এইক্ষেত্রে প্রয়োগ-বিন্দু O অন্য বলের ক্রিয়ায় P বলের ক্রিয়ারেখার বিপরীত

OBর দিকে সরে। সুতরাং এই ক্ষেত্রে Pর বিরুদ্ধে কার্য হয়। ঋণাত্মক (negative) চিহ্ন ইহাই প্রকাশ করে।




43নং চিত্র—P-এর বিরুদ্ধে কার্য হয়।




44নং চিত্র—$m$ ভরের ঢিল $h$ দূরত্ব পড়িল। কৃত কার্য $=mgh$.

উদাহরণ : (i) একটি $m$ ভরের A ঢিল $h$ দূরত্ব উপর হইতে ফেলা হইল। অভিকর্ষজাত ত্বরণ $=g$. $\therefore$ বলের মান $=mg$ ; সরণ $=h$ ; অতএব অভিকর্ষ বল দ্বারা কৃত কার্য $W=mgh$.

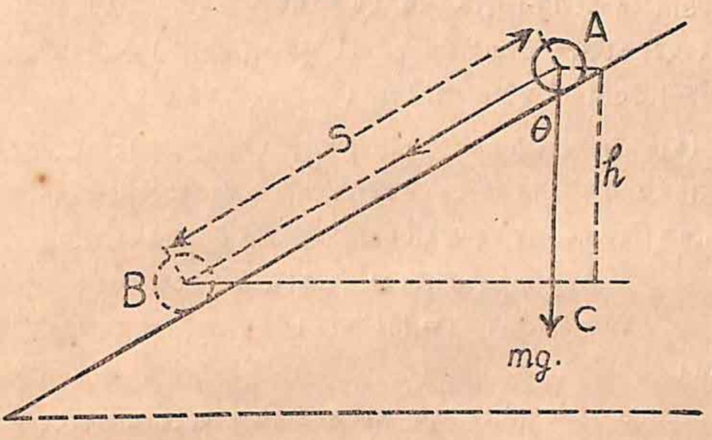
(ii) একটি লোক $m$ ভরের একটি ঝুড়ি মাটি হইতে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে লম্বভাবে $h$ দূরত্ব উপরে তুলিল। অভিকর্ষ লম্বভাবে নীচের দিকে ক্রিয়া করে। সুতরাং লোকটি অভিকর্ষের বিরুদ্ধে কার্য করে। এখানে অভিকর্ষজাত ত্বরণ $=g$, বল $=mg$, সুতরাং লোক দ্বারা কৃতকার্য $W=mgh$. এখানে মানুষের কার্য ধনাত্মক, অভিকর্ষের কার্য ঋণাত্মক।




45নং চিত্র—লোকটি $m$ ভর $h$ দূরত্ব তুলিল। কৃতকার্য $=mgh$.

(iii) মনে কর, একটি $m$ ভরের কোন বস্তু নত-তল ( inclined plane ) বাহিয়া A হইতে Bতে যাইল। বস্তুর ভর বা ওজন বা পৃথিবীর অভিকর্ষ বল $mg$ লম্বভাবে নীচের দিকে ক্রিয়া করে। কিন্তু বস্তুটি নত-তলের জন্য খাড়াভাবে

নামে না। মনে কর বস্তুটি নত-তল বাহিয়া B পর্যন্ত যায়। মনে কর সরণের অভিমুখ ও অভিকর্ষ-বলের অভিমুখের মধ্যে $\theta$ কোন আছে। মনে কর A




46নং চিত্র—নততলে কৃতকার্য $= mgh$.

হইতে B পর্যন্ত দূরত্ব $= S$. অভিকর্ষের দিকে সরণ S-এর উপাংশ $= S \cos \theta$ ; মনে কর তল বাহিয়া বস্তুটি S পথে যাইলে বস্তুটি নীচের দিকে নামে $h$ দূরত্ব।

$\therefore$ $S. \cos \theta = h$. সুতরাং কার্য $W = mg\, S \cos \theta = mgh$.

(iv) রাস্তায় ঘর্ষণের বিরুদ্ধে কোন বস্তুকে ঠেলিয়া লইয়া যাইলে কার্য করিতে হয়।

(v) দুইটি চুম্বকের বিপরীত মেরু নিকটে লইয়া যাইলে ইহারা পরস্পর আকর্ষণ করিয়া কার্য করে। এইরূপ বিপরীত মেরুদ্বয়কে পরস্পর হইতে সরাইয়া লইলে আকর্ষণের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হয়। সমমেরুদ্বয়কে এইরূপে নিকটে আনিলে বিকর্ষণের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হয়।

**35. কার্যের একক:** (ক) Absolute Unit (**চরম একক**)—কোন বস্তুর উপর এক একক বল প্রযুক্ত হইলে যদি প্রয়োগ-বিন্দু এক একক দূরত্ব যায় তবে যে কার্য হয় তাহাই কার্যের একক। C. G. S. প্রণালীতে এক ডাইন বল প্রয়োগ-বিন্দুকে বলের অভিমুখে অর্থাৎ বল যেদিকে ক্রিয়া করে

সেইদিকে এক সেন্টিমিটার সরাইয়া দিলে যে কার্য হয় তাহাকে Erg ( আর্গ ) বলে। সুতরাং আর্গ $=1$ ডাইন $\times 1$ সেঃ মিটার। F. P. S. প্রণালীতে এক পাউণ্ডাল বল প্রয়োগ-বিন্দুকে এক ফুট বলের অভিমুখে সরাইয়া দিলে যে কার্য হয় তাহাকে Foot Poundal ( ফুট-পাউণ্ডাল ) বলে। সুতরাং 1 ফুট-পাউণ্ডাল $=1$ ফুট $\times 1$ পাউণ্ডাল। এই দুই একক চরম একক।

(খ) Gravitational Unit ( মহাকর্ষীয় একক ): C. G. S. প্রণালীতে এক গ্রাম ভরকে লম্বভাবে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে এক সেন্টিমিটার উপরে তুলিতে যে কার্য হয় তাহাকে গ্রাম-সেন্টিমিটার একক বলে।

$W=mgh$ এখানে $m=1$ গ্রাম, $h=1$ সেঃ মিঃ

$\therefore$ $W=1\times 981\times 1=981$ আর্গ। ইহাকেই গ্রাম-সেন্টিমিটার বলে।

F. P. S. প্রণালীতে এক পাউণ্ড ভরকে লম্বভাবে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে উপরে এক ফুট তুলিতে যে কার্য হয় তাহাকে ফুট-পাউণ্ড বলে।

$W=mgh$ এখানে $m=1$ পাউণ্ড, $h=1$ ফুট

$\therefore$ $W=1\times 32\times 1$ফুট-পাউণ্ডাল $=32$ ফুট-পাউণ্ডাল। ইহাকেই ফুট-পাউণ্ড বলে।

**Practical Unit** ( ব্যবহারিক একক ): উপরোক্ত এককগুলির মান খুব কম বলিয়া কার্যতঃ জুল ( Joule ) ও কিলোগ্রাম-মিটার একক ব্যবহার করা হয়। 1 জুল $=10^7$ আর্গ। 1 কিলোগ্রাম-মিটার $=1000\times 100=10^5$ গ্রাম-সেঃ মিঃ।

**দুই এককের সম্পর্ক**: আমরা পূর্বে দেখিয়াছি, বলের চরম একক $\times g=$ বলের মহাকর্ষীয় একক। $\therefore$ 1 ফুট-পাউণ্ড $=32.2$ ($g$) ফুট-পাউণ্ডাল, 1 গ্রাম-সেন্টিমিটার $=981$ ($g$) আর্গ। যেহেতু 1 পাউণ্ডাল $=13825$ ডাইন ও 1 ফুট $=30.48$ সেঃ মিঃ সুতরাং 1 ফুট-পাউণ্ডাল $=1$ পাউণ্ডাল $\times 1$ ফুট $=13825$ ডাইন $\times 30.48$ সেঃ মিঃ $=13825\times 30.48$ আর্গ $=4.214\times 10^5$ আর্গ। 1 ফুট-পাউণ্ড $=1.36\times 10^7$ আর্গ $=1.36$ জুল।

**36. Power ( ক্ষমতা ) :** মনে কর, 80 খানি পাথর 30 ফুট অভিকর্ষের বিরুদ্ধে উপরে তুলিতে হইবে। একটি শক্তিশালী লোক 20 মিনিটে 20 বারে তুলিল। একটি দুর্বল লোক 40 মিনিটে 40 বারে তুলিল। উভয়ে সম-পরিমাণ কার্য করিল কিন্তু দ্বিতীয় ব্যক্তি একই কার্য করিতে অধিক সময় লইল। যাহার ক্ষমতা অধিক সে দুর্বল লোক অপেক্ষা **অল্প সময়ে** কার্যটি শেষ করিবে অর্থাৎ শক্তিশালী লোক যে কার্য যে সময়ে করিবে দুর্বল লোক সেই কার্য করিতে **অধিক সময়** লইবে। ক্ষমতাশালী লোকের কার্য করিবার হার অধিক, দুর্বল লোকের কার্য করিবার হার কম। একই লোক যদি কম সময়ে পাথরগুলি তোলে তবে কার্যের হার বাড়িয়া যাইবে, সে ক্লান্তি বোধ করিবে। একই ভরের দুইটি মোটর গাড়ীর মধ্যে একটি ঘণ্টায় 60 মাইল, অপরটি ঘণ্টায় 40 মাইল পথ অতিক্রম করে। রাস্তার ঘর্ষণ ও বায়ুর বাধা দুইটি গাড়ীর পক্ষে সমান হইলে **একই সময়ে** প্রথম গাড়ী অধিক কার্য করিবে, কারণ ইহা অধিক দূর যায়। প্রথম গাড়ীর কার্য করিবার হার দ্বিতীয় গাড়ীর কার্য করিবার হার অপেক্ষা অধিক। **কার্য করিবার হারকে ক্ষমতা বলে।** ক্ষমতার পরিমাপ দুইটি জিনিষের উপর নির্ভর করে, মোট কার্যের পরিমাণ ও তাহার জন্য কতটা সময় লাগে।

∴ **ক্ষমতা** $(P)=$ **মোট কার্য** $(W) \div$ **সময়** $(T)$।

C. G. S. প্রণালীতে ক্ষমতার **চরম** একক হইল এক আর্গ কার্য প্রতি সেকেণ্ডে এবং F. P. S. প্রণালীতে এক ফুট-পাউণ্ডাল কার্য প্রতি সেকেণ্ডে। C. G. S. পদ্ধতিতে ক্ষমতার অভিকর্ষ একক হইল এক গ্রাম-সেন্টিমিটার কার্য প্রতি সেকেণ্ডে এবং F. P. S পদ্ধতিতে ইহা হইল এক ফুট-পাউণ্ড কার্য প্রতি সেকেণ্ডে। প্রতি সেকেণ্ডে 550 ফুট-পাউণ্ড বা প্রতি মিনিটে 33000 ফুট-পাউণ্ড কার্য করিবার ক্ষমতাকে এক Horse power ( H. P. অশ্বশক্তি ) বলে। জেমস্ ওয়াট কর্তৃক নিয়োজিত অশ্ব এক মিনিটে 220 ফুট গভীর খনি হইতে 150 পাউণ্ড কয়লা তুলিয়াছিল। সেইজন্য এই একককে অশ্বশক্তি বলে।

প্রতি সেকেণ্ডে 1 জুল বা $10^7$ আর্গ কাজ করিবার ক্ষমতাকে Watt (ওয়াট) বলে। সাধারণতঃ বিদ্যুৎ সম্পর্কিত ক্ষমতা প্রকাশ করিতে ওয়াট ব্যবহৃত হয়। 1000 ওয়াট = 1 কিলোওয়াট।

1 অশ্বশক্তি = 550 ফুট-পাউণ্ড প্রতি সেকেণ্ডে
$= 550 \times 32{\cdot}2$ পাউণ্ডাল/সেকেণ্ড ( $g = 32{\cdot}2$ ফুট/সেকেণ্ড$^2$ )
$= 550 \times 32{\cdot}2 \times 4{\cdot}21 \times 10^5$ আর্গ/সেকেণ্ড
$= \dfrac{550 \times 32{\cdot}2 \times 4{\cdot}21 \times 10^5}{10^7}$ জুল/সেকেণ্ড
$= 746{\cdot}4$ জুল/সেকেণ্ড $= 746{\cdot}4$ ওয়াট (প্রায়)
$= 0{\cdot}7464$ কিলোওয়াট ( প্রায় $\frac{3}{4}$ কিলোওয়াট )
$\therefore$ 1 কিলোওয়াট $= 1000 \div 746 = 1{\cdot}34$ অশ্বশক্তি।

**অঙ্ক** (1) If clouds were one mile above the earth and rain fell sufficient to cover one square mile at sea-level, $\frac{1}{2}$ an inch deep, how much work was done in raising the water to the clouds? (Mass of 1 cu. ft. of water = 62·5 lbs.) (C. U. 1920)

বৃষ্টিজলের আয়তন = 1 বর্গ মাইল $\times \frac{1}{2}$ ইঞ্চি
$= (1760 \times 3)^2 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{12}$ ঘন ফুট ; 1 ঘন ফুট জলের ওজন $= 62{\cdot}5$ পাউণ্ড
এই বৃষ্টিজলের ওজন $= (1760 \times 3)^2 \times \frac{1}{24} \times 62{\cdot}5$ পাউণ্ড
$\therefore$ এই জলকে এক মাইল তুলিতে কার্য $= \dfrac{5280^2}{24} \times 62{\cdot}5 \times 1760 \times 3$
$= 383328 \times 10^6$ ফুট-পাউণ্ড। ( $\because$ 1 মাইল $= 1760 \times 3$ ফুট। )

(2) An engine is used to pump 22000 gallons of water per hour through a vertical height of 100 ft. Find the H. P. required.

1 গ্যালন জলের ওজন = 10 পাউণ্ড
$\therefore$ 22000 গ্যালন জলের ওজন $= 22 \times 10^4$ পাউণ্ড
এক ঘণ্টায় কৃত কার্য $= 22 \times 10^4 \times 100 = 22 \times 10^6$ পাঃ
সেকেণ্ডে কৃত কার্য $= \dfrac{22 \times 10^6}{60 \times 60}$ ফুট/পাঃ
এঞ্জিনের অশ্বশক্তি $\dfrac{22 \times 10^6}{60 \times 60 \times 550} = 11{\cdot}1$ অশ্বশক্তি

**গ্যাস-প্রসারণের দ্বারা কৃত কার্য ঃ**

(3) A piston is moved along a cylinder against a constant pressure $p$. Find an expression for work done in a stroke.
( C. U. 1941 )

মনে কর, পিষ্টনের মুখের প্রস্থচ্ছেদ বা ক্ষেত্রফল $= a$, এবং মনে কর, $p$ চাপের বিরুদ্ধে পিষ্টন $s$ দূরত্ব সরিয়া আসে।

পিষ্টনের মুখে ক্রিয়াশীল মোট বল $=$ চাপ $\times$ ক্ষেত্রফল $= p \times a$.

কার্য $W =$ বল $\times$ সরণ $= p.a \times s = p \times a.\ s$

$= p \times v$ ( $\therefore$ $sa =$ ক্ষেত্রফল $\times$ দৈর্ঘ্য $=$ আয়তন $= v$ )

$\therefore$ $W =$ চাপ $\times$ আয়তন অর্থাৎ পিষ্টন যে জায়গা সরে তার আয়তন ও স্থির চাপের গুণফল হইল কার্যের পরিমাণ। যদি $p$, $a$ ও $s$-কে C. G. S. প্রণালীতে প্রকাশ করা হয় তবে W-র একক হইবে আর্গ। যদি উহাদিগকে F. P. S. প্রণালীতে প্রকাশ হয় তবে W-র একক হইবে ফুট-পাউণ্ডাল।

(3) Convert a foot-poundal into ergs.

1 পাউণ্ডাল $= \frac{1}{32{\cdot}2} \times 1$ পাউণ্ডের ওজন $= \frac{1}{32{\cdot}2} \times 453{\cdot}6$ গ্রাম

$= \left(\frac{1}{32{\cdot}2} \times 453{\cdot}6 \times 981\right)$ ডাইন ; 1 ফুট $= 30{\cdot}48$ সেঃ মিঃ

$\therefore$ 1 ফুট পাউণ্ডাল $= \frac{30{\cdot}48 \times 453{\cdot}6 \times 981}{32{\cdot}2}$ আর্গ

$= (4{\cdot}212 \times 10^5)$ আর্গ।

4. A pump can lift 2000 gallons of water to a height of 90 ft. in one hour. Calculate the H. P. of the pump. 1 gallon of water weighs 10 lbs.

এখানে প্রযুক্ত বল $= 2000 \times 10$ পাউণ্ড-ওজন

কৃত কার্য $= 2000 \times 10 \times 90$ ফুট-পাউণ্ড

সময় $= 60 \times 60$ সেকেণ্ড

∴ ক্ষমতা $= \frac{2000 \times 10 \times 90}{60 \times 60}$ ফুট পাউণ্ড/সেকেণ্ড

$= 500$ ফুট পাউণ্ড/সেকেণ্ড

$= \frac{500}{550} = \cdot 91$ অশ্বশক্তি

5. A motor car of 6000 pounds can run at a speed of 30 miles per hour overcoming the friction of air and ground. If this friction be $\frac{1}{30}$ of wt. of the car, what is its H. P. ?

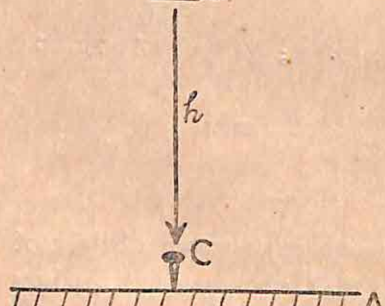
গাড়ী যে বলের বিরুদ্ধে কাজ করে তাহার মান

$= \frac{1}{30} \times 6000$ lb. $= 200$ পাউণ্ড-ওজন

বেগ $= \frac{30 \times 1760 \times 3}{60 \times 60} = 44$ ফুট/সেকেণ্ড ∴ কার্যের মান $= 200 \times 44$ ফুট-পাউণ্ড। ∴ অশ্বশক্তি $= \frac{200 \times 44}{550} = 16$.

দ্রষ্টব্য : সাধারণ ঘোড়ার ক্ষমতা $= \frac{3}{4}$ অঃ শঃ, সুস্থ মানুষের ক্ষমতা $= \frac{1}{7}$ অঃ শঃ, মটর এঞ্জিনের ক্ষমতা 6 হইতে 30 অঃ শঃ, যুদ্ধ-জাহাজের ক্ষমতা 120,000 অঃ শঃ পর্যন্ত হইতে পারে।

37. শক্তি—তোমরা 'কার্য' ও 'ক্ষমতা' কাহাকে বলে জানিয়াছ। এবার 'শক্তি' কাহাকে বলে বুঝাইব। নীচে একখণ্ড A কাঠের উপর খাড়াভাবে একটি পেরেক C দাঁড় করানো আছে। একটি ভারী ইট B উপরে তুলিয়া ঠিক পেরেকের উপরে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। ইট যতই নীচে পড়িতে থাকে ততই উহার বেগ বাড়িতে থাকে। ইট পেরেকের উপর পড়ায় পেরেক কাঠের বাধা অতিক্রম করিয়া ভিতরে খানিকটা ঢুকিয়া যায়। কাঠের বাধা অতিক্রম করিয়া পেরেককে ভিতরে ঢুকাইতে কার্য করিতে হইয়াছে। কাহার দ্বারা কার্য সম্পাদিত হইল? গতিশীল ইটের দ্বারা এই কার্য সম্পন্ন হইয়াছে। ইটকে স্থিরভাবে পেরেকের




47নং চিত্র—B ইট C পেরেকের উপর পড়িলে পেরেক বসিয়া যায়।

উপর রাখিয়া দিলে পেরেকটি অতটা কাঠের মধ্যে ঢুকিত না। ইটটি গতিসম্পন্ন হওয়ার জন্য উহার মধ্যে কার্য করিবার সামর্থ (capacity) জন্মিয়াছে। ইট পেরেকের উপর পড়ায় এই সামর্থ্য কার্যে পর্যবসিত হইয়াছে।

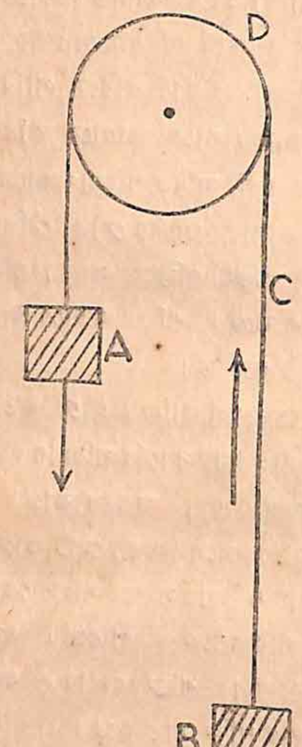
**অবস্থান বা অবস্থা অনুযায়ী পদার্থের কার্য করিবার সামর্থ্যকে শক্তি বলে।** আমাদের শক্তি আছে বলিয়া আমরা কার্য করিতে পারি। যে লোকের অধিক পরিমাণ কার্য করিবার সামর্থ্য থাকে তাহাকে অধিক শক্তিশালী বলি অর্থাৎ তাহার 'শক্তি' নামক গুণটি অধিক পরিমাণ আছে। বায়ুর শক্তি আছে বলিয়া ইহা কলকারখানা চালায়, পালের নৌকা ঠেলিয়া লইয়া যায়। বাষ্পের শক্তিতে গাড়ী চলে। তড়িৎ শক্তিতে কলকারখানা চলে। আবার 'শক্তি' আছে বলিয়া জগৎ চলিতেছে। শক্তির অভাবে জগৎ স্থাণুবৎ। সমগ্র জগতে অহঃরহ শক্তির খেলা চলিতেছে।

কোন ব্যাপারে কতটা শক্তি ব্যয়িত হইয়াছে তাহা জানিতে হইলে কতটা কার্য হইয়াছে তাহা জানিলেই চলিবে। অর্থাৎ মোট কার্যের পরিমাণ হইল শক্তির মাপ। ∴ শক্তি = অপসারিত দূরত্ব × বল। অতএব কার্যের ও শক্তির একক এক। মনে রাখিবে, কার্যের হারকে বলে ক্ষমতা, মোট কার্যের পরিমাণকে বলে শক্তি। শক্তির সহিত কার্য করিবার সময়ের সহিত কোন সম্পর্ক নাই। একক সময়ে সম্পন্ন কার্যের পরিমাণকে ক্ষমতা বলে। যখন কোন পদার্থ বলের বিরুদ্ধে কাজ করে তখন পদার্থ শক্তি হারায়। যখন কোন পদার্থের উপর বল ক্রিয়া করে তখন পদার্থ শক্তি লাভ করে।

38. শক্তির প্রকারভেদ: শক্তি প্রধানতঃ দুই প্রকারের:—

(ক) Kinetic energy (গতীয় শক্তি)—পদার্থ হয় স্থির থাকে, না হয় গতিশীল হয়। গতির জন্য পদার্থের কার্য করিবার সামর্থ্যকে গতীয় শক্তি বলে। কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় প্রত্যেক গতিশীল পদার্থের স্থির হইবার পূর্বে কোন বাধার মুখে কার্য করিবার সামর্থ্য থাকে। জানালায় ঢিল ছুড়িলে ঢিলের দ্রুতগতিতে জানালার কাঁচ ভাঙিয়া যায়। ঢিলটি যদি ছুটিয়া না আসিত তবে কাঁচ ভাঙিত না। গতির জন্য ঢিলে কার্য করিবার শক্তি জন্মায়। জলপ্রপাতের গতিশীল জলের দ্বারা বা প্রবহমান বায়ুর দ্বারা বড় বড়

কলকারখানা চলে। হাই জাম্প বা লং জাম্প দিবার সময় কিছুদূর হইতে দৌড়াইয়া শক্তি সঞ্চয় করিতে হয়। অধিক বেগসম্পন্ন বন্দুকের গুলিতে এত বেশী গতীয় শক্তি থাকে যে উহা শক্ত পদার্থের কণাগুলির আসঞ্জন বলের (cohesive force) বিরুদ্ধে কাজ করিয়া উহাকে ভেদ করিয়া যায়। শক্ত পদার্থের গায়ে গুলি ঠেকাইয়া রাখিলে ঐরূপ কাজ হয় না। দোদুল্যমান দোলক, নিক্ষিপ্ত তীর, প্রচণ্ড ঝড়, বিস্ফোরণের টুকরা, চলন্ত ট্রাম—সকলেরই গতীয় শক্তি থাকে। স্থির পদার্থের কোন গতীয় শক্তি থাকে না।

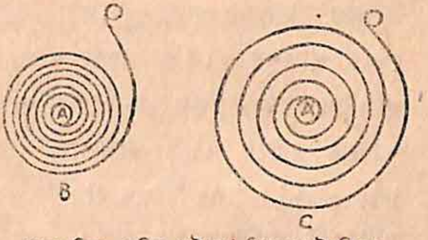



48নং চিত্র—A ইট B বস্তুকে স্থৈতিক শক্তির জন্য আকর্ষণের বিরুদ্ধে তুলিতেছে।

(খ) Potential energy (স্থৈতিক শক্তি): ছাদে স্থিরভাবে অবস্থিত একখানি A ইটের সহিত সূতা বাঁধিয়া সূতাটি D কপিকলের উপর দিয়া ঘুরাইয়া সূতার অপর প্রান্ত নীচে অবস্থিত হালকা B বস্তুর সহিত আটকানো হইল। A ইটকে ছাদ হইতে নীচের দিকে ছাড়িয়া দিলে ইহা B বস্তুকে আকর্ষণের বিরুদ্ধে টানিয়া তুলিবে অর্থাৎ কার্য করিবে। A ইটটি যতক্ষণ মাটিতে থাকে ততক্ষণ ইহার কার্য করিবার সামর্থ্য থাকে না। পারিপার্শ্বিক বস্তুর অবস্থানের পরিবর্তনের জন্য ইটে শক্তি সঞ্চিত হয়।

ঘড়ির কাঁটা অবিরত ঘুরিয়া সময় নির্দেশ করে। কাঁটা ঘুরাইবার জন্য শক্তির প্রয়োজন। এই শক্তি কে যোগায়? আমরা জানি, ঘড়িকে চালু রাখিতে হইলে ঘড়িতে নিয়মিত দম দিতে হয় অর্থাৎ চাবি দিয়া ঘড়ির

ভিতরের একটি স্প্রিং-এর স্বাভাবিক খোলা বড় অবস্থা হইতে গুটানো ছোট অবস্থায় আনা হয়। এই সময় উহার বিভিন্ন অংশের অবস্থান বদলাইবার জন্য আমরা শক্তি সঞ্চয় করিয়া উহার উপর কার্য করি। এইরূপে উহার ভিতর খানিকটা শক্তি সঞ্চিত হয়, অর্থাৎ স্প্রিংএর কার্য করিবার সামর্থ্য আসে। এইবার স্প্রিং ছাড়িয়া দিলে এই সঞ্চিত স্থৈতিক শক্তির বলে নিজ হইতে প্যাঁচ খুলিবার চেষ্টায় স্প্রিং উল্টা দিকে চলিতে থাকে এবং ক্রমে স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসে। তখন স্প্রিং-এর শক্তি ফুরাইয়া যায়। স্প্রিং-এর সহিত ঘড়ির কাঁটা এরূপভাবে সংযুক্ত থাকে যে স্প্রিং উল্টা দিকে ঘুরিবার সময় ঘড়ির কাঁটা ঘুরিতে থাকে। এইরূপে স্প্রিং-এর স্থৈতিক শক্তি চাকার গতীয় শক্তিতে পরিণত হয়। স্বাভাবিক অবস্থান হইতে গুটানো অবস্থানে স্প্রিং-এর যে পরিবর্তন হয় স্প্রিং সেইজন্য কার্য করিবার শক্তি লাভ করে।



49নং চিত্র—ঘড়ির গুটানো স্প্রিংএর স্থৈতিক শক্তির জন্য প্যাঁচ খোলে অর্থাৎ কার্য হয়।

আমরা শক্তি খরচ না করিয়া কোন পদার্থের অবস্থানের পরিবর্তন করিতে পারি না। আমি একখানি ইটকে মাটি হইতে ছাদে তুলিলে পৃথিবীর আকর্ষণের বিরুদ্ধে ইটের উপর আমি কার্য করি। আমার শক্তি ক্ষয় হয় এবং ঠিক সমপরিমাণ কার্য করিবার শক্তি ইট লাভ করে। ইটকে তুলিলে ইহাতে যে শক্তির সঞ্চার হয় তাহার মূলে কোন কার্য থাকে। ইটটা পড়িবার সময় এই সঞ্চিত শক্তির দ্বারা কার্য করে। মাটির ইট ও ছাদের ইট একই ইট কিন্তু উপরে থাকার জন্য ছাদের ইটে কার্য করিবার শক্তি থাকে। ধনুকের ছিলাতে তীর লাগাইয়া ছিলা টানিলাম। আমার শক্তি খরচ হইল। এই স্থৈতিক শক্তি তীরে ও ছিলার বিশিষ্ট অবস্থানে সঞ্চিত হইল। হাত ছাড়িয়া দিলে স্থৈতিক শক্তি গতীয় শক্তিতে পরিণত হয়। বাঁকান ধাতব পাত, বিস্তৃত রবার, বেহালার তার, সংকুচিত বায়ু, গ্রামোফোনে দম দেওয়া স্প্রিং—সকলেই আকার-বিকৃতির জন্য শক্তিলাভ করে। ইহাদের নির্দিষ্ট

অবস্থানে ফিরিয়া যাইতে দিলে ইহারা সকলেই কার্য করে। কোন বস্তুর বিশেষ স্থানে স্থিতির ( position ) জন্য বা পদার্থের বিভিন্ন অংশের আপেক্ষিক অবস্থানের ( configuration ) জন্য কার্য করিবার সামর্থ্যকে স্থৈতিক শক্তি বলে। স্থৈতিক শক্তি প্রকৃত সঞ্চিত শক্তি।

39. শক্তির মাপ : (ক) গতীয় শক্তির মাপ : গতীয় শক্তির ক্ষেত্রে গতিশূন্য বা স্থির অবস্থাকে বস্তুর প্রামাণ্য অবস্থা ধরা হয়। সুতরাং গতিশীল বস্তুকে বাহ্যিক বল-প্রয়োগ দ্বারা থামাইতে যাইলে অর্থাৎ গতিশূন্য করিতে যাইলে বস্তুটি থামিবার পূর্বে সেই বাহ্যিক প্রযুক্ত ( external impressed ) বলের বিরুদ্ধে গতিশীল বস্তু যতটা কার্য করিতে পারে তাহার পরিমাণই গতীয় শক্তির মাপ। মনে কর, কোন মুহূর্তে $m$ ভরবিশিষ্ট বস্তু $u$ বেগে চলিতেছে। স্থির অবস্থায় আসিবার পূর্বে কোন বলের বিরুদ্ধে বস্তুটি কতটা কার্য করিতে পারে তাহাই হইবে ইহার গতীয় শক্তির মাপ।

মনে কর, $p$ বল ইহার গতিকে বাধা দিয়া $f$ মন্দন উৎপন্ন করে।

$\therefore \ p=mf \quad \therefore \ f=\frac{p}{m}$

মনে কর, $p$ বলের ক্রিয়ায় $s$ দূরত্ব অতিক্রম করিয়া পদার্থটি থামিয়া যায়, অর্থাৎ ইহার শেষ বেগ $v=o$ হয়, তবে সমীকরণ $v^2=u^2+2fs$ অনুসারে $o=u^2-2fs$ বা $u^2=2fs \quad \therefore \ s=\frac{u^2}{2f}$।

দেখা যাইতেছে বস্তুটি আসিবার পূর্বে $p$ বলের বিরুদ্ধে $s$ দূরত্ব অতিক্রম করায় বস্তুটির $ps$ কার্য করিবার সামর্থ্য থাকে।

$\therefore$ বস্তুর গতীয় শক্তি = থামিবার পূর্বে $p$ বলের বিরুদ্ধে সম্পন্ন কার্য = বল $\times$ সরণ $=ps=mfs.=\frac{1}{2}mu^2 \cdots\cdots(16)$

**অতএব কোন মুহূর্তে গতীয় শক্তি (K.E) = সেই মুহূর্তের বেগের বর্গের ও ভরের গুণফলের অর্ধেক।**

যদি ভর $m$ গ্রামে ও প্রাথমিক বেগ $u$ সেন্টিমিটার/সেকেণ্ডে প্রকাশিত হয় তবে গতীয় শক্তি $=\frac{1}{2}mu^2$ আর্গ।

যদি $m$ পাউণ্ডে ও $u$ ফুট/সেকেণ্ডে প্রকাশিত হয় তবে গতীয় শক্তি $=\frac{1}{2}mu^2$ ফুট পাউণ্ডাল।

$p$ বড় হইলে $s$ ছোট হইবে এবং $ps. = \frac{1}{2}mu^2$.

যদি $p$ বল সরলরেখায় $m$ ভরের উপর $s$ দূরত্ব ক্রিয়া করিয়া বস্তুর বেগ $u$ হইতে $v$-তে বর্ধিত করে তবে $v^2 - u^2 = 2fs$. বা $s = \frac{v^2 - u^2}{2f}$.

$p$ বল দ্বারা সম্পন্ন কার্য $= p\ s. = mf\frac{v^2 - u^2}{2f} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2 \cdots (17)$

$\therefore$ বল দ্বারা কোন বস্তুর উপর সম্পন্ন কার্য = শেষ গতীয় শক্তি − প্রথম গতীয় শক্তি = বস্তুর গতীয় শক্তির বৃদ্ধি।

গতীয় শক্তি বেগের বর্গফলের সমানুপাতিক হয় বলিয়া মালগাড়ীর চেয়ে মেল ট্রেণের সংঘর্ষ খুব বেশি ধ্বংসাত্মক হয় যদিও মালগাড়ীর ভর মেল ট্রেণের ভরের চেয়ে অনেক বেশী।

(খ) স্থৈতিক শক্তির মাপঃ বর্তমান অবস্থান হইতে কোন নির্দিষ্ট অবস্থানে যাইতে কোন বস্তু যে কার্য করে বা কোন নির্দিষ্ট অবস্থান হইতে বর্তমান অবস্থানে আনিতে পদার্থের উপর যে কার্য হয় তাহার পরিমাণই হইল পদার্থের স্থৈতিক শক্তির মাপ। পৃথিবীর পৃষ্ঠে অবস্থানকেই নির্দিষ্ট বা শূন্য ( Standard বা zero ) অবস্থান ধরা হয়।

যদি $m$ ভরকে পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে $h$ উচ্চতায় লওয়া হয় তবে অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে সম্পন্ন কার্য = বল × দূরত্ব $= mg \times h = mgh.$ = স্থৈতিক শক্তি$\cdots(18)$ ( $\because$ অভিকর্ষ বল = ওজন $= mg.$ ). F. P. S. প্রণালীতে স্থৈতিক শক্তি $= mgh$ ফুট-পাউণ্ডাল $= mh$ ফুট-পাউণ্ড। C. G. S. প্রণালীতে স্থৈতিক শক্তি $= mgh$ আর্গ $= mh$ গ্রাম-সেন্টিমিটার।

যখন $m$ ভরবিশিষ্ট পদার্থ $h$ উচ্চতা হইতে ভূপৃষ্ঠে পড়ে তখন তার ওজন $mgh$ কার্য করে। ইহা $mgh$ স্থৈতিক শক্তি হারায়।

অঙ্ক ঃ 1. A body of mass 644 lb. is going with a velocity 32 ft/sec. Find its kinetic energy in ft. poundal and ft. pound ($g = 32{\cdot}2$ ft/sec$^2$).

গতীয় শক্তি $= \frac{1}{2}$ ভর × বেগ$^2$

$= \frac{1}{2} \times 644 \times 32 \times 32$ ফুট-পাউণ্ডাল

$=\frac{1}{2}\times\frac{644\times 32\times 32}{32{\cdot}2}$ ফুট-পাউণ্ড

$=10240$ ফুট-পাউণ্ড।

2. A body of mass 20 kilograms is moving with a velocity of 10 metres/sec. Find the kinetic energy in erg and joule.

20 কিলোগ্রাম $=20{,}000$ গ্রাম,

10 মিটার/সেকেণ্ড $=1000$ সেঃ মিঃ/সেকেণ্ড

$\therefore$ গতীয় শক্তি $=\frac{1}{2}\times 20000\times(1000)^2$ আর্গ

$=10^{10}$ আর্গ $=1000$ জুল।

3. Find the energy stored in a train weighing 250 tons and travelling at the rate of 60 miles per hour. How much energy must be added to the train to increase its speed to 65 miles per hour? (C. U. 1925)

ট্রেণের ভর $=250$ টন $=250\times 20\times 4\times 28$ পাঃ $=560000$ পাঃ

ট্রেণের গতি $=$ ঘণ্টায় 60 মাঃ $=\frac{60\times 1760\times 3}{60\times 60}=88$ ফুট/সেকেণ্ড

$\therefore$ ট্রেণের গতীয় শক্তি $\frac{1}{2}mu^2=\frac{1}{2}\times 560000\times 88^2$

$=216832\times 10^4$ ফুট-পাউণ্ডাল

ট্রেণের অতিরিক্ত গতি $=$ ঘণ্টায় 65 মাইল $=\frac{65\times 1760\times 3}{60\times 60}=\frac{286}{3}$ ফুট/সেঃ

এই সময়ে গতীয় শক্তি $=\frac{1}{2}\times 560000\times(\frac{286}{3})^2=254476{\cdot}4\times 10^4$ ফুট-পাউণ্ডাল,

$\therefore$ যোগ করিবার অতিরিক্ত গতীয় শক্তি

$=(254476{\cdot}4-216832)\times 10^4=376{\cdot}44\times 10^6$ ফুট-পাউণ্ডাল।

4. A body of mass 10 kilograms is let fall through a height of 10 metres. Find its kinetic energy just before it reaches the ground and show that it is equal to potential energy. ( C. U. 1946 )

পড়িবার পূর্বে দ্রব্যের স্থৈতিক শক্তি $=mgh=10^4\times 980\times 10^3$ আর্গ।

$v^2=2gh=2\times 980\times 10\times 100$

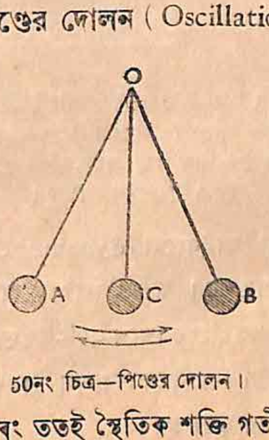
$\therefore$ গতীয় শক্তি $=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\times 10\times 1000\times 2\times 980\times 10\times 100$
$=10^4\times 980\times 10^3$ আর্গ

$\therefore$ স্থৈতিক শক্তি = গতীয় শক্তি।

**40. শক্তির বিভিন্ন রূপ (Forms) ও শক্তির দ্বারা কৃত কার্য:** স্থৈতিক ও গতীয় শক্তি বিভিন্ন রূপে প্রকাশিত হয়:—যথা (ক) **যান্ত্রিক শক্তি:** পতনশীল পদার্থের শক্তি—ইহা স্থৈতিক ও গতীয় শক্তির সমন্বয়। (খ) **তাপ:** পরমাণুর গতীয় শক্তি। ইহা এঞ্জিন চালায়। (গ) **আলো:** ঈথার তরঙ্গের গতীয় শক্তি। ইহা চোখের পর্দায় আঘাত করে। (ঘ) **শব্দ:** ইহা বায়ুতে তরঙ্গের গতীয় শক্তি। ইহা কানের পর্দায় আঘাত করে। (ঙ) **চুম্বক:** ইহা লোহা আকর্ষণ করে। (চ) **তড়িৎ:** ইহা পাখা চালায়, গাড়ী টানে। (ছ) **আণবিক শক্তি:** প্রত্যেক পদার্থের অণুগুলির বিশিষ্ট শক্তি থাকে। অবস্থানের জন্য স্থৈতিক শক্তি থাকে এবং অণুগুলির গতির জন্য গতীয় শক্তি থাকে। (জ) **রাসায়নিক শক্তি:** ইহা অণুগুলিকে পরস্পর আকর্ষণ করে।

**41. শক্তির রূপান্তর (Transformation):** আমরা প্রতি মুহূর্তে শক্তিকে এক রূপ হইতে অন্য রূপে পরিবর্তিত হইতে দেখিতেছি। বস্তুতঃ প্রায় প্রত্যেক প্রাকৃতিক ঘটনাই শক্তির রূপান্তরের দৃষ্টান্ত। নিম্নে কতকগুলি দৃষ্টান্ত দেওয়া গেল।

(ক) **স্থৈতিক শক্তি→গতীয় শক্তি: পিণ্ডের দোলন** (Oscillation of a pendulum bob): পৃথিবীর আকর্ষণ দোলকের পিণ্ডকে সর্বোচ্চ স্থান A বা B হইতে টানিয়া সর্বনিম্ন স্থান Cতে আনে। ইহা A ও Bতে গতিহীন হয় এবং Cতে সর্বাপেক্ষা বেশি গতি প্রাপ্ত হয়। সুতরাং A ও Bতে ইহার সব শক্তিই পৃথিবীর আকর্ষণজনিত স্থৈতিক শক্তি। যতই ইহা Cএর অভিমুখে আসিতে থাকে ততই ইহার গতি বৃদ্ধি পায় এবং ততই স্থৈতিক শক্তি গতীয়



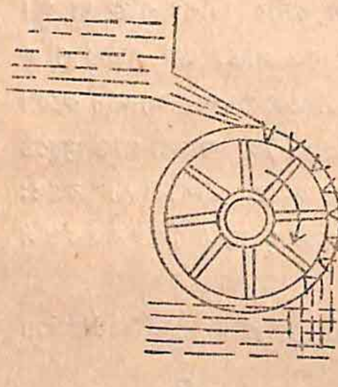
50নং চিত্র—পিণ্ডের দোলন।

শক্তিতে পরিণত হয়। সর্বনিম্ন স্থান Cতে ইহার সমস্ত স্থৈতিক শক্তিই গতীয় শক্তিতে পরিণত হয়। এই গতীয় শক্তির জন্য C হইতে ইহা যতই A ও Bতে উঠিতে থাকে ততই ইহার গতীয় শক্তি পুনরায় স্থৈতিক শক্তিতে পরিণত হইতে থাকে।

দোলনের যে-কোন সময়ে মোট শক্তি (স্থৈতিক + গতীয় শক্তি) সমান থাকে।

ঘড়ির পেঁচানো স্প্রীংতে স্থৈতিক শক্তি থাকে। প্যাচ ধীরে ধীরে খুলিলে স্থৈতিক শক্তি গতীয় শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

(খ) **পতনশীল পদার্থ** ( স্থৈতিক→গতীয়→শব্দ ও তাপ ): উচ্চস্থানে অবস্থিত পদার্থের শক্তি সবই স্থৈতিক। পড়িবার সময়ে স্থৈতিক শক্তি ক্রমশঃ গতীয় শক্তিতে রূপান্তরিত হয় এবং তাহার বেগ বাড়ে। মাটি স্পর্শ করিবার পূর্ব পর্যন্ত ইহার সমস্ত শক্তিই গতীয় শক্তি থাকে। মাটি স্পর্শ করিলেই গতি বন্ধ হয়। গতীয় শক্তি তাপ ও শব্দ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।



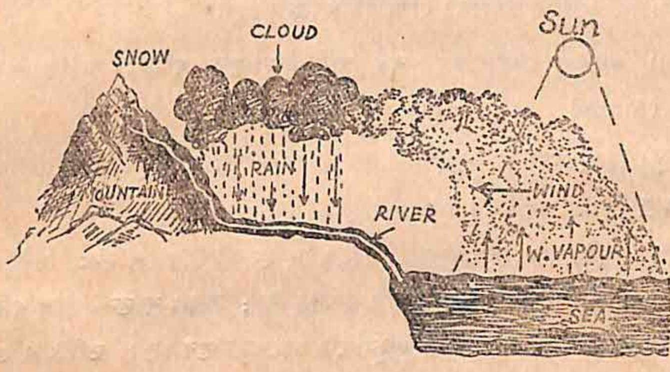
51নং চিত্র—উচ্চ স্থানের জলের স্থৈতিক শক্তি থাকে। নীচে নামিবার সময় স্থৈতিক শক্তি গতীয় শক্তিতে পরিণত হইয়া টারবাইন ঘোরায়।

(গ) জলশক্তি ( hydro-electric or hydel power ) ( স্থৈতিক→গতীয়→তড়িৎ→গতীয় ): উচ্চস্থানে ( যেমন পাহাড়ে ) জলের স্থৈতিক শক্তি থাকে। নীচে পড়িবার সময় স্থৈতিক শক্তি গতীয় শক্তিতে পরিণত হয়। এই গতি দ্বারা টারবাইনের ( turbine ) চাকা ঘোরানো হয়। চাকার গতির দ্বারা ডাইনামো (dynamo) ঘোরে। ডাইনামোর গতীয় শক্তি হইতে তড়িৎ উৎপন্ন হয়। তড়িৎ আবার পাখা, ট্রেণ, ট্রাম চালায়।

আমাদের দেশে নদী-উপত্যকা পরিকল্পনায় উচ্চ বৃহৎ বাঁধে জল সঞ্চিত করিয়া নিয়মিতভাবে জল টারবাইনে ফেলিয়া বিপুল যান্ত্রিক ও তড়িৎ শক্তি উৎপন্ন করা হয়।

(ঘ) যান্ত্রিক শক্তি→আলো ও তাপ শক্তি : পাথরের সঙ্গে পাথর ঘর্ষণ করিলে আলো ও তাপের উদ্ভব হয়। ঘর্ষণের বিরুদ্ধে যে কার্য করিতে হয় তাহাই তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

(ঙ) **প্রবহমান নদী** ( running stream ) : সূর্যের তাপ শক্তিতে প্রত্যহ প্রভূত সমুদ্রজল বাষ্পীভূত হয়। এই বাষ্প উপরে উঠিয়া মেঘ হয়।




52নং চিত্র—জলচক্র ; জল→বাষ্প→মেঘ→বৃষ্টি নদীর জল।

উচ্চস্থানে মেঘের স্থৈতিক শক্তি থাকে। মেঘ বৃষ্টিরূপে পড়িলে মেঘের স্থৈতিক শক্তি বৃষ্টির ও নদীর জলের গতীয় শক্তিতে পরিণত হয়।

(চ) গতীয় শক্তি ও শব্দ শক্তি : কোন বস্তু বিশেষভাবে কাঁপিলে শব্দ উৎপন্ন হয়।

(ছ) তাপের রূপান্তর : কয়লা পুড়াইয়া তাপ পাই। জলে তাপ প্রয়োগ করিলে তাপ জলের অণুর গতি-বৃদ্ধি করিয়া জলকে বাষ্প করে ; বর্ধিতায়ন বাষ্প পিস্টনকে ঠেলিয়া দেয় ; পিস্টনের গতি গাড়ীর চাকা চালায়। এখানে তাপ গাড়ীর গতীয় শক্তিতে পরিণত হয়। গতীয় শক্তিকে লাইনের ঘর্ষণের ও বায়ুর প্রতিরোধের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হয়। বিজলিবাতিতে তাপ আলোক শক্তিতে এবং পদার্থের অবস্থার পরিবর্তনে তাপ আণবিক শক্তিতে পরিণত হয়।

(জ) **আলোকের রূপান্তর :** আলোক শক্তি→তাপ শক্তি : আলোক রশ্মিকে উত্তল ( convex ) লেন্সের সাহায্যে কাগজের উপর এক বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত করিলে:কাগজ তাপে পুড়িয়া যায়।

আলোক শক্তি→রাসায়নিক শক্তি ফটোগ্রাফ প্লেটের উপর আলো পড়িলে প্লেটের রাসায়নিক ক্রিয়া হয়। হাইড্রোজেন ও ক্লোরিনের মিশ্রণের উপর আলো পড়িলে ইহাদের রাসায়নিক ক্রিয়া হয়।

(ঝ) **শব্দের রূপান্তর :** শব্দ শক্তি→যান্ত্রিক শক্তি : দৃষ্টান্ত পরবশ কম্পন (forced vibration)।

(ঞ) **চুম্বক শক্তি→তাপ শক্তি :** ইস্পাতের দ্রুত চুম্বকত্ব প্রাপ্তিতে ও চুম্বকত্ব হ্রাসে তাপের উদ্ভব হয়।

(ট) **তড়িতের রূপান্তর :** তড়িৎ শক্তি→গতীয় শক্তি : তড়িতের সাহায্যে গাড়ী, পাখা ও ট্রামের গতি উৎপন্ন হয় ; তড়িৎ শক্তি→তাপ শক্তি : তড়িতের সাহায্যে স্টোভ, ইস্ত্রি ও চুল্লীতে তাপের উদ্ভব হয়। তড়িৎ শক্তি→ শব্দ শক্তি : ইলেকট্রিক বেল ও টেলিফোনে তড়িৎ হইতে শব্দ উৎপন্ন হয়। তড়িৎ শক্তি→রাসায়নিক শক্তি : তড়িৎ প্রবাহ দিয়া জলের বিশ্লেষণ করা যায়।

(ঠ) **রাসায়নিক শক্তির রূপান্তর :** সূর্যের তাপে ও আলোয় বায়ুর কারবন ডাই-অক্সাইড ( carbon dioxide ) গ্যাস বিশ্লিষ্ট হইয়া কারবন ও অক্সিজেন হয় এবং গাছপালা অঙ্গার আত্মসাৎ ( assimilate ) করিয়া দেহ-বৃদ্ধি করে। এই গাছপালা ভূমিকম্পে বা অন্য কোন প্রাকৃতিক বিপর্যয়ে মাটির নীচে চাপা পড়িলে মাটির ভীষণ চাপে গাছের কাঠ-কয়লায় রূপান্তরিত হয়। সুতরাং কয়লা ও কাঠে প্রভৃত রাসায়নিক স্থৈতিক শক্তি থাকে। যখন কয়লা ও কাঠ জ্বলে তখন এই স্থৈতিক রাসায়নিক শক্তি আলো ও তাপে রূপান্তরিত হয়। বারুদে আগুন দিলে বিস্ফোরণ হয়। এখানে রাসায়নিক শক্তি শব্দ, আলো, তাপ ও যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

42. **সাম্য অবস্থা ও স্থৈতিক শক্তি :** সুস্থিত সাম্যে থাকিলে কোন পদার্থের সর্বাপেক্ষা কম স্থৈতিক শক্তি থাকে, দুঃস্থিত সাম্যে থাকিলে ইহার সর্বাপেক্ষা বেশি স্থৈতিক শক্তি থাকে। সুস্থিত সাম্যে বস্তুর গতীয় শক্তি শূন্য হয় কারণ $u=0$ স্থৈতিক ; শক্তি নূন্যতম হইলে $mgh$ নূন্যতম হইবে। $m$ ও $g$এর কোন পরিবর্তন হয় না। সুতরাং সুস্থিত অবস্থায় $h$ সর্বাপেক্ষা কম হইবে অর্থাৎ বস্তুর ভারকেন্দ্র সর্বাপেক্ষা নীচে থাকিবে। দুঃস্থিত সাম্যে ভারকেন্দ্র নিম্নতম বিন্দুর অনেক উপরে থাকে। উদাসীন সাম্যে ভারকেন্দ্র উপরেও উঠে না, নীচেও নামে না। যে অবস্থানে কোন পদার্থ বা পদার্থসমষ্টির ( system of bodies ) স্থৈতিক শক্তি সর্বাপেক্ষা কম থাকে, পদার্থ সেই অবস্থানে আসিতে চেষ্টা করে। সেইজন্য কোন পদার্থ উচ্চস্থান হইতে নীচে চলিয়া আসিতে চেষ্টা করে। জল উচ্চস্থান হইতে নীচে প্রবাহিত হয়, পেঁচানো স্প্রিং খুলিয়া যায়।

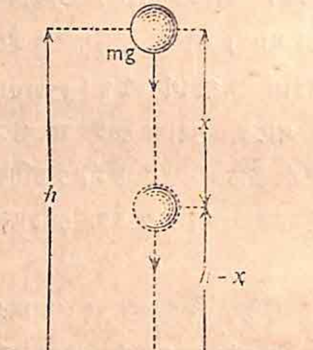
43. Conservation of Energy ( **শক্তির নিত্যতা** ) : আমরা উপরোক্ত দৃষ্টান্ত হইতে দেখিলাম যে, শক্তি এক মূর্তিতে অন্তর্ধান করে এবং অপর মূর্তিতে আবির্ভূত হয়, কিন্তু কোন ক্ষেত্রেই শক্তি একবারেই ধ্বংস হয় না বা নূতন করিয়া সৃষ্ট হয় না। কোন পদার্থ যে পরিমাণ শক্তি হারায় ঠিক সেই পরিমাণ শক্তি অপর পদার্থ লাভ করে। কোন পদার্থ বা পদার্থের সমবায় ( system ) নিজে হইতে শক্তি সৃষ্ট করিতে পারে না। বিশ্বের মোট শক্তির পরিমাণ নির্দিষ্ট। ইহার পরিমাণ কমেও না, বাড়ে না। এই সূত্রকে **শক্তির অবিনশ্বরতা** বা **নিত্যতা** বলে। সূত্রটি এইরূপ :—**"কতকগুলি বস্তুর পারস্পরিক ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার ফলে শক্তি সৃষ্ট বা বিনষ্ট হইতে পারে না, কেবলমাত্র শক্তি এক মূর্তি হইতে অন্য এক মূর্তিতে বা অনেক মূর্তিতে রূপান্তরিত হয়। বিশ্বের মোট শক্তির পরিমাণ নিত্য থাকে।"**

আইনস্টাইনের মতবাদ অনুসারে জড় শক্তিতে ও শক্তি জড়ে রূপান্তরিত হইতে পারে। পরীক্ষাগারে আণবিক শক্তির পরীক্ষার সময় এই মতবাদের সত্যতা প্রমাণিত হইয়াছে। আণবিক বোমায় জড়ের অণুর রূপান্তর হইতে প্রভূত শক্তি উৎপন্ন হয়।

নিম্নের উদাহরণ শক্তির নিত্যতা প্রমাণ করে :—

**44. বিনাবাধায় পতনশীল পদার্থের স্থৈতিক ও গতীয় শক্তির যোগফল সকল সময়েই সমান হয় :**

মনে কর, $m$ ভরবিশিষ্ট পদার্থ ভূপৃষ্ঠ হইতে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে $h$ উচ্চতায় তোলা হইল। ইহার উপর কার্য হইল $W=mgh$। এখানে এই কার্য পদার্থের মধ্যে স্থৈতিক শক্তিরূপে সঞ্চিত থাকে। ইহার পরিমাণ $=mgh$ হয়। পদার্থকে উচ্চ স্থান হইতে ফেলিয়া দিলে এই স্থৈতিক শক্তি ক্রমশঃ গতীয় শক্তিতে পরিণত হয়। প্রাথমিক অবস্থায় স্থৈতিক শক্তি $=mgh$. প্রাথমিক অবস্থায় গতীয় শক্তি $=0$.




53নং চিত্র—স্থৈতিক ও গতীয় শক্তির যোগফল সমান

$\therefore$ মোট শক্তি $=mgh+0=mgh$.

মনে কর, এই স্থির অবস্থা হইতে ইহা $x$ দূরত্ব নামিল এবং এই সময়ে ইহার বেগ $=v$ হয়; $\therefore\ v^2=2gx$.

$\therefore$ এই মুহূর্তে পদার্থের গতীয় শক্তি $=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m.2gx=mgx$ এবং স্থৈতিক শক্তি $=mg\ (h-x)$।

$\therefore$ এই মুহূর্তে দুই শক্তির যোগফল $=mgx+mg(h-x)=mgh=$ প্রথম অবস্থার শক্তি।

মাটি স্পর্শ করিবার ঠিক পূর্ব মুহূর্তে পদার্থের সমস্ত শক্তিই গতীয় শক্তি। ইহার পরিমাণ $=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m.2gh=mgh$. ($\because\ v^2=2gh$) এখানে স্থৈতিক শক্তি $=0$.

$\therefore$ স্থৈতিক শক্তি + গতীয় শক্তি $=mgh+0=mgh$.

অতএব পদার্থের সমস্ত পতনকালের মধ্যে যে কোন অবস্থানে পদার্থের মোট শক্তি এক থাকে, যদিও ইহা এক মূর্তি হইতে অপর মূর্তিতে রূপান্তরিত হয়। যখন পদার্থ মাটিতে পড়ে তখন পদার্থের গতি বন্ধ হয় বলিয়া

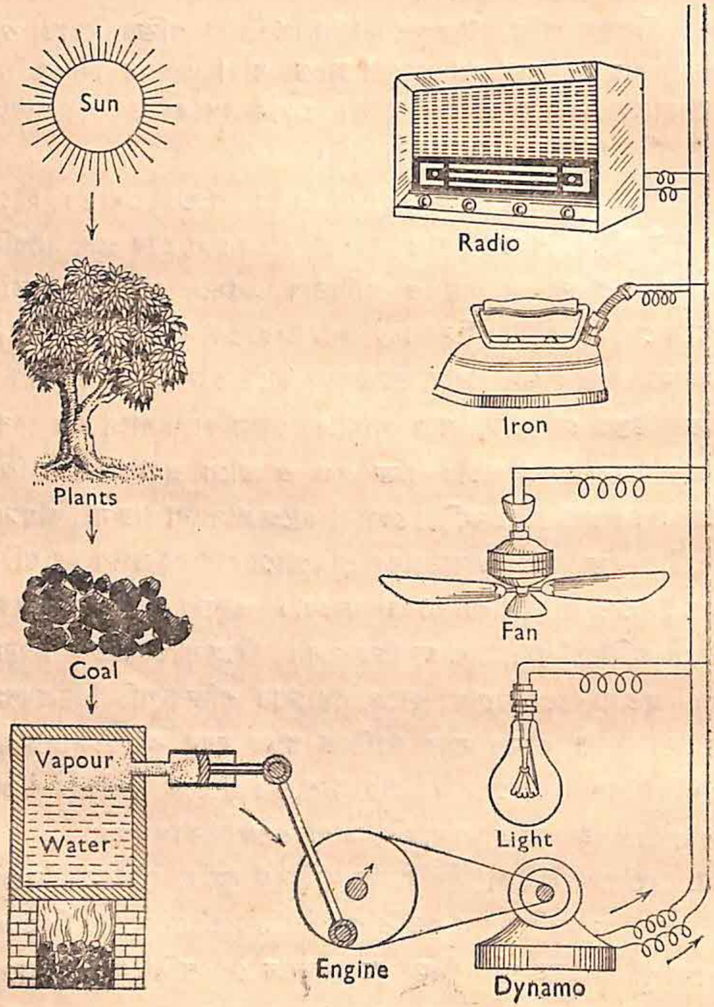
আপাত-দৃষ্টিতে মনে হয় গতীয় শক্তি নষ্ট হইল, কিন্তু তাহা প্রকৃত নহে। গতীয় শক্তি শব্দ, তাপ ও যান্ত্রিক শক্তিতে পরিণত হয়। এই উদাহরণ শক্তির নিত্যতার একটি উৎকৃষ্ট প্রমাণ।

**45. চিরন্তন গতি ( Perpetual Motion ):** শক্তির নিত্যতা সূত্র হইতে বুঝা যায় যে, এমন যন্ত্র পাওয়া অসম্ভব যাহা একবার চলিলে বিনা শক্তি সরবরাহে চিরকাল চলিতে পারে। কোন যন্ত্র হইতে কার্য পাইতে হইলে সমপরিমাণ শক্তি সরবরাহ করা চাই।

**46. শক্তির অপচয় ( Dissipation ):** শক্তির রূপান্তর হইতে আমরা কার্য পাই। শক্তির রূপান্তর হইতেই এঞ্জিন চলে, ট্রেন চলে, জলশক্তি উৎপন্ন হয়। শক্তির অন্তর্ধান ও আবির্ভাব একসঙ্গে চলিলেও প্রত্যেক রূপান্তরের ক্ষেত্রে কতকটা শক্তি আমরা আমাদের কোন কাজে লাগাইবার জন্য পাই নাই। যখন একটা বোমা প্রচণ্ড শব্দে ফাটে তখন যে আলো, তাপ ও শব্দশক্তির উদ্ভব হয় তাহা আর আমাদের কোন কাজে লাগে না। যখন ঢিল পড়ে তখন ইহার গতীয় শক্তি শব্দ ও তাপে রূপান্তরিত হয় কিন্তু ইহাদের আবার রূপান্তরিত করিয়া কোনো কাজে লাগানো যায় না। এঞ্জিনের প্রচণ্ড গতীয় শক্তি ঘর্ষণের ও বাতাসের প্রতিরোধে লাইনের তাপে রূপান্তরিত হয় কিন্তু ইহাদের আর ফিরিয়া পাওয়া যায় না। এইরূপ শক্তির অকার্যকর রূপান্তরকে শক্তির বিলোপ বা অপচয় বলে। বিশ্বে সমস্ত শক্তির পরিমাণ নির্দিষ্ট। সুতরাং বিশ্বে মানুষের কাজে লাগানোর শক্তির পরিমাণ ক্রমশঃই কমিতেছে। হয়ত এমনও সময় আসিতে পারে যখন কাজে লাগাইবার কোন শক্তিই পাওয়া যাইবে না। প্রকৃতই শক্তির প্রত্যেক রূপান্তরে শক্তির খানিকটা তাপ হইয়া নষ্ট হইয়া যায়। তাহাতে কোন কাজ হয় না।

**47. সৌর শক্তিই পার্থিব সকল শক্তিরই মূল:** পৃথিবীতে কয়লা, কাঠ, তৈল, উচ্চে অবস্থিত জল প্রভৃতি পদার্থ শক্তির প্রধান আধার কিন্তু এই সকল দ্রব্য হইতে উদ্ভূত শক্তি সমস্তই পরোক্ষভাবে সৌরশক্তি হইতে আসে। সূর্যের তাপের ও আলোর সাহায্যে গাছপালা বায়ু হইতে কারবন ডাই-অক্সাইড বিশ্লেষণ করিয়া কারবন আত্মসাৎ করে। এইরূপে সৌরশক্তি গাছপালার রাসায়নিক শক্তিতে পরিণত হয়। প্রাকৃতিক বিপর্যয়ে গাছপালা

মাটির নীচে প্রোথিত হইয়া কোটি কোটি বৎসর যাবৎ ভীষণ চাপে কয়লায় পরিণত হয়। এই কাঠ ও কয়লা জ্বালাইয়া আমরা প্রভূত তাপশক্তি পাই।




54নং চিত্র—সৌর-শক্তি সকল শক্তির উৎস।

তাপ-প্রয়োগে জলকে বাষ্পে পরিণত করি। বাষ্পের চাপে এঞ্জিন,

কল-কারখানা চালাই। বাষ্পের চাপে Dynamo চালাইয়া তড়িৎ উৎপন্ন করি। আবার এই তড়িৎ দ্বারা কল কারখানা চালাই, আলো জ্বালাই, পাখা চালাই, ইস্ত্রি গরম করি, রেডিও চালাই। সূর্যের তাপে জল বাষ্পীভূত হইয়া উপরে উঠিয়া যায়। বাষ্পে সৌর-শক্তি থাকে। ঊর্ধ্বে অবস্থিত মেঘে স্থৈতিক শক্তি থাকে। মেঘ হইতে বৃষ্টি হয়। বৃষ্টি নীচে পড়িবার সময়ে গতীয় শক্তি প্রাপ্ত হয়। এই গতীয় শক্তি হইতে জলশক্তি পাওয়া যায়। আবার সূর্য প্রত্যক্ষভাবে আমাদের প্রভূত আলো ও তাপ দেয়।

অতএব আমরা দেখিতে পাই, পৃথিবীর সমস্ত শক্তির মূল উৎস সৌরশক্তি। সূর্য হইতে অবিরত আলোক ও তাপশক্তি চতুর্দিকে বিকীর্ণ হইতেছে। এই বিশাল শক্তিপ্রবাহের অতি ক্ষুদ্র অংশ পৃথিবীর বুকে আসিয়া পড়ে। আবার এই পতিত শক্তির সামান্য অংশ পৃথিবী নানা প্রকারে সঞ্চয় করিয়া রাখে। পৃথিবীতে সঞ্চিত শক্তি রূপান্তরিত হইয়া পৃথিবীপৃষ্ঠে নানাপ্রকার পরিবর্তন সাধিত হইতেছে। শক্তির রূপান্তরের ফলে নদীতে স্রোত থাকে, সমুদ্রের জল বাষ্পীভূত হয়, আকাশে মেঘ হয়, গাছপালা সৃষ্ট হয়, ধরণী শস্যশ্যামলা হয়।

48. **সৌরশক্তির উৎস**ঃ দেখা যায়, সূর্য শক্তির একটি বিরাট কারখানা। কোথা হইতে সূর্য এই শক্তি সংগ্রহ করে? পূর্বে বৈজ্ঞানিকদের ধারণা ছিল যে, জড় কখনও শক্তিতে রূপান্তরিত হইতে পারে না। কিন্তু বিশ্ববিখ্যাত বৈজ্ঞানিক আইনস্টাইন দেখাইলেন যে, জড় রূপান্তরিত হইয়া শক্তিতে পরিণত হইতে পারে। সামান্য পদার্থ হইতে বিশাল শক্তি উৎপন্ন করা যায়। এক পাউণ্ড পদার্থ রূপান্তরিত করিয়া প্রায় 4 কোটি মণ কয়লা পোড়াইবার সমান শক্তি উৎপন্ন করা যায়। পদার্থের রূপান্তর হইতে আণবিক বোমার প্রচণ্ড শক্তি উদ্ভূত হয়। সূর্যের জড়-উপাদান অবিরত শক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে। এই রূপান্তরের ফলে সূর্যের ভর প্রতি মিনিটে পঁচিশ কোটি মণ কমিয়া যাইতেছে; কিন্তু সূর্যের ভর এত বেশী যে এই হারে ভর কমিলেও এক কোটি বৎসরে উহার ভর কমিবে মাত্র দশ লক্ষ ভাগের এক ভাগ।

অঙ্ক : A body of mass 50 gms. is allowed to fall freely under gravity. What is the force acting upon it ? Calculate the momentum and kinetic energy it possesses after 5 seconds. ( C. U. 1937 ).

(*a*) বল $= mf = 50 \times 981 = 49050$ ডাইন

(*b*) ভরবেগ $= m \times v$.

$v = gt = 981 \times 5 = 4905$ সেঃ মিঃ-সেকেণ্ড

$\therefore \ m \times v = 50 \times 4905 = 245250$ সেঃ মিঃ গ্রাম-সেকেণ্ড

(*c*) গতীয় শক্তি $= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 50 \times (4905)^2 = 6003 \times 10^8$ আর্গ.

## সারাংশ

বলের প্রয়োগ-বিন্দু বলের ক্রিয়ার অভিমুখে সরিলে বল কার্য করিয়াছে বলা হয়। বলের প্রয়োগ-বিন্দু ক্রিয়ার অভিমুখের বিপরীত দিকে সরিলে বলের বিরুদ্ধে কার্য করা হয়। W = P.S. ; W = P.S. Cos $\theta$. এক ডাইন বল-প্রয়োগে প্রয়োগ-বিন্দু এক সেঃ মিঃ সরিলে এক আর্গ কার্য হয়। এক কোটি আর্গে এক জুল হয়। অভিকর্ষের বিরুদ্ধে এক গ্রাম ভরকে এক সেন্টিমিটার তুলিলে এক গ্রাম সেন্টিমিটার কার্য হয়। এক পাউণ্ডাল বল-প্রয়োগে প্রয়োগ-বিন্দু এক ফুট সরিলে এক ফুট-পাউণ্ডাল কার্য হয়। এক পাউণ্ড ওজনকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে এক ফুট তুলিলে এক ফুট-পাউণ্ড কার্য হয়। কার্য করিবার হারকে ক্ষমতা বলে। কার্য করিবার সামর্থ্যকে শক্তি বলে। গতির জন্য বস্তুর যে শক্তি জন্মায় তাহাকে গতীয় শক্তি বলে। বিশেষ অবস্থানের জন্য বস্তুর যে শক্তি জন্মায় তাহাকে স্থৈতিক শক্তি বলে।

## প্রশ্ন

1. শক্তি কাহাকে বলে ? গতীয় শক্তি ও স্থৈতিক শক্তির পার্থক্য কি ?

( কঃ বিঃ 1932, '36, '45 )

What is energy ? What is the difference between kinetic and potential energy ?

2. দোলায়মান দোলকের বিভিন্ন অবস্থানে স্থৈতিক ও গতীয় শক্তির প্রভেদ বর্ণনা কর।

( কঃ বিঃ 1943 )

Describe the difference between the kinetic and potential energy of an oscillating pendulum at different stages ?

3. পতনশীল বস্তুর যে-কোন মুহূর্তে স্থৈতিক ও গতীয় শক্তির যোগফল সমান—ইহা প্রমাণ কর।

Prove that the sum of potential and kinetic energy of a falling body at any moment is equal.

4. শক্তির নিত্যতা-সূত্র বিবৃত কর এবং উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর। ( কঃ বিঃ 1933, '25 )

State the law of conservation of energy and explain it with examples.

5. কার্য, বল ও চাপ ব্যাখ্যা কর।

Explain work, force and pressure.

6. 500 কিলোগ্রাম ওজন 50 মিটার পড়িবার পর থামিয়া যায়, কতটা কার্য হয়? $g=981$ সেঃ মিঃ/সেকেণ্ড² ।

A weight of 500 kgms. stops after falling 50 metres, what is the work?

( Ans. $24525 \times 10^8$ ergs ).

7. পাউণ্ড, পাউণ্ডাল, পাউণ্ড-ওজন—ব্যাখ্যা কর।

Explain the terms : Pound, poundal.

8. একটি মানুষ মিনিটে 30 গ্যালন জল 16 ফুট উচ্চে তুলিতে পারে, সে এক ঘণ্টায় মোট কত ফুট-পাউণ্ড কার্য করে ?

A man can pump 30 gallons of water per minute to a height of 16 feet. How many foot-pounds of work does he do in an hour? (Ans. 288,000 ft. lbs.)

9. কার্য ও শক্তির সংজ্ঞা বল। শক্তির সংরক্ষণের ও রূপান্তরের কতকগুলি দৃষ্টান্ত দাও।

Define work and energy. Give some examples of conservation and transformations of energy. ( কঃ বিঃ 1916, '28 ; পাঃ বিঃ 1957 )

10. একটি ট্রেণ সমবেগে উপরে উঠিতেছে। ট্রেণের শক্তি কে সরবরাহ করিতেছে ?

A train is going up at uniform speed. Which is supplying energy to the train?

11. ক্ষমতা কাহাকে বলে ? ওয়াট ও অশ্বশক্তি কাহাকে বলে। ইহাদের সম্পর্ক কি ?

What is power? What are watt and horse power? What is their relation?

12. সূর্যই যে পার্থিব শক্তির উৎস তাহা উদাহরণ দ্বারা বুঝাও।

Explain by example that the sun is the source of all terrestrial energy.

13. দেওয়ালের সঙ্গে একটি 20 ফিট দীর্ঘ মই লম্ব দেওয়ালের সঙ্গে 30° কোণে রাখা আছে। 13 ষ্টোন মানুষের মই দিয়া উপরে উঠিতে কত কার্য করিতে হয় ?

A ladder 20 feet long rests against a vertical wall and is inclined at an angle of 30° to it. How much work is done by a man weighing 13 stone in ascending it? (Ans. $1520\sqrt{3}$ ft. lbs.)

14. একটি মজুর, যাহার নিজের ভার 130 পাউণ্ড, 20 খানা ইট লইয়া 25 ফিট উচ্চ বাড়ীর ছাদের উপর যায়। মজুর দ্বারা কতটা কার্য হয়? ( প্রত্যেক ইটের ওজন=8 পাউণ্ড )

A labourer whose weight is 130 lbs. reaches a roof 25 feet high from the ground with 20 bricks each weighing 8 lbs. What is the amount of work done by the man? ( Ans. 233450 ft. poundal. )

15. কোন যন্ত্রের দ্বারা 5 টন ভারী বেলুনকে মিনিটে 22 ফিট উচ্চতা পর্যন্ত উত্তোলিত করা হয়। যন্ত্রের অশ্বশক্তি কত?

A machine can raise a balloon of 5 tons 22 feet per min. What is the horse power of the machine? (Ans. 11·2 H. P.)

16. এক টন ভরবিশিষ্ট বস্তু 50 ফিট উচ্চ স্তম্ভ হইতে পতিত হইয়া থামিয়া যায়। ঐ বস্তুর দ্বারা কত কার্য হয়?

A body of one ton mass stops after falling from a height of 50 feet. What is the amount of work done by it? (Ans. 358400 ft. pound)

17. 28 পাউণ্ড ভরবিশিষ্ট কোন বস্তু মিনিটে 30 গজ বেগে যাইতেছে। যদি উহাকে বাধা দিয়া 7 সেকেণ্ডে থামাইতে হয় কত প্রতিবন্ধক বলের দরকার?

A body of mass 28 lbs is moving with a velocity of 30 yds per minute. What is the magnitude of the retarding force which will just bring it to rest in 7 seconds? (Ans. A force equal to the wt. of 6 lbs.)

18. চন্দ্রের পৃষ্ঠে ( $g=150$ ) 8 কিলোগ্রামকে 12 মিটার উচ্চে উঠাইতে কত কার্য হইবে?

What amount of work would be done in lifting 8 Kilogrammes to a height of 12 metres above the surface of the moon where $g=150$,

(Ans. $1{\cdot}44\times10^{9}$ ergs)

19. 50 ডাইন বল 2 মিটার যাইলে কত কর্ম হয়?

What is the work done by a force of 50 dynes acting through a distance of 2 metres? (Ans. 10,000 ergs)

20. 12 পাউণ্ড ভরবিশিষ্ট কোন বস্তু 30° কোণে আনত একটি তল বাহিয়া 3 গজ উপরে উঠাইতে কত কার্য হইবে?

How much work is to be done in moving a body of 12 lbs to a distance of 3 yards along a plane inclined at an angle of 30° to the horizontal?

(Ans. 69 12 ft. lbs.)

21. এক বস্তা ময়দার ওজন $2\frac{1}{2}$ cwt. কত উচুতে ইহাকে তুলিলে ইহার স্থৈতিক শক্তি 9240 ফুট পাউণ্ড হইবে?

A sack of flour weighs $2\frac{1}{2}$ cwt. To what height must it be raised in order that its P. E. may be 9240 ft. pounds? (Ans. 33 ft.)

22. 1 cwt. ভর স্থির অবস্থা হইতে 4 সেকেণ্ড পড়িলে ইহার গতীয় শক্তি কত?

What is the K. E, of a mass 1 cwt. after it has fallen from rest for 4 seconds? (Ans. 28672 ft. lbs)

# পঞ্চম অধ্যায়

## Mechanical Equivalent of Heat
## ( তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক )

**49. তাপের প্রকৃতি ঃ** দুইটি পদার্থ ঘর্ষণ করিলে তাপ উৎপন্ন হয়। এই ঘটনা প্রাচীনকাল হইতে জানা থাকা স্বত্বেও তাপের প্রকৃতি কি সে সম্পর্কে স্পষ্ট ধারণা ছিল না। পুরাকালে বৈজ্ঞানিকগণ মনে করিতেন, "তাপ ক্যালোরিক (caloric) নামক এক প্রকার অদৃশ্য, ওজনশূন্য ও অবিনশ্বর তরল পদার্থ যাহা সহজে এক পদার্থ হইতে অন্য পদার্থে প্রবেশ করিতে পারে। ইহা পদার্থের আন্তরাণবিক ফাঁকের মধ্যে থাকে। কোন পদার্থে ক্যালোরি প্রবেশ করিলে উহা উষ্ণ হয় এবং কোন পদার্থ হইতে ক্যালোরি বাহির হইলে উহা শীতল হয়। উষ্ণ পদার্থ হইতে ক্যালোরিক শীতল পদার্থে প্রবাহিত হয়।" ইহাকে তাপের **ক্যালোরি মতবাদ** (Caloric Theory) বলে। উনিশ শতকের পূর্ব পর্যন্ত এই মতবাদ প্রচলিত ছিল।

মিউনিকের সমরসচিব কাউণ্ট রামফোর্ডই প্রথম 1798 খ্রীস্টাব্দে এই মতবাদ খণ্ডন করেন। তিনি অস্ত্রশালায় কামান প্রস্তুতকালে দেখিলেন যে, 113 পাউণ্ড ওজনের কোন ধাতুর (gun metal) একটি চোঙ $2\frac{1}{2}$ গ্যালন জলের মধ্যে রাখিয়া একটি ভোঁতা তুরপুণ (drill) দ্বারা চোঙকে ছিদ্র করিলে কিছুক্ষণ পরে এই ঘর্ষণ-প্রক্রিয়ায় এত তাপ উদ্ভুত হইল যে জল ফুটিতে লাগিল এবং তুরপুণ ও চোঙ উষ্ণ হইতে লাগিল, অথচ মাত্র 2 আউন্স ধাতুর গুড়া পাওয়া গেল। আবার তুরপুণ, চোঙ ও জল তিনটি পদার্থ কোন ক্যালোরি ত্যাগ করে না কারণ ইহারা শীতল হয় না। তিনি আরও দেখিলেন যে, ঘর্ষণে অফুরন্ত তাপ উৎপন্ন করা যায়। ক্যালোরিক নামক কোন জড় পদার্থ এইরূপ সীমাহীন পরিমাণে উৎপন্ন করা যায় না। সুতরাং তিনি এই সকল



55নং চিত্র কাউণ্ট রামফোর্ড

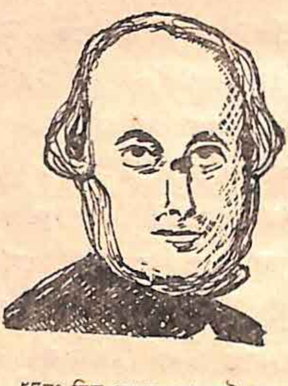
পরীক্ষা হইতে সিদ্ধান্ত করিলেন যে, তাপ কোন জড় পদার্থ নয়। ইহা এক প্রকার গতীয় শক্তি।

এই ঘটনার পর হামফ্রে ডেভি পরীক্ষা করিয়া দেখিলেন যে বায়ুশূন্য স্থানে 29° ফাঃ উষ্ণতায় দুই খণ্ড বরফ **ঘষিলে** উৎপন্ন তাপে বরফ গলিবার লীনতাপ সরবরাহ করে এবং বরফ গলিয়া যায়। ক্যালোরিকবাদিগণের মতানুসারে জলের তাপ ধারণ ক্ষমতা কমিয়া যাওয়া উচিত কিন্তু দেখা যায় জলের তাপ ধারণ ক্ষমতা বরফের তাপ ধারণ ক্ষমতা অপেক্ষা অধিক। ডেভি সিদ্ধান্ত করেন যে ঘর্ষণে পদার্থের অণুর গতি বাড়ে এবং অণুর মোট গতীয় শক্তিই তাপ। অণুর গতির বেগ বৃদ্ধি পাইলে তাপের মাত্রা বৃদ্ধি পায়। অণুর গতির বেগ হ্রাস পাইলে তাপের মাত্রা হ্রাস পায়। কোন পদার্থে তাপ প্রয়োগ করার অর্থ অণুর গতির বেগ বৃদ্ধি করা। ইহাকে তাপের Dynamic বা Kinetic Theory (গতীয় মতবাদ) বলে। 1850 খ্রীস্টাব্দে জেমস্ প্রেস্কট্ জুল পরীক্ষা করিয়া দেখাইলেন যে, "তাপ এক প্রকার শক্তি"। তিনি তাপের ও অন্যান্য শক্তির সম্পর্ক নির্ণয় করিলেন। (নবম ও দশম শ্রেণীর 199 পৃষ্ঠা)।



56নং চিত্র স্যার হামফ্রে ডেভি

**50. তাপ এক প্রকার শক্তিঃ** আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যে, কোন না কোন প্রকার শক্তি হইতে তাপ উদ্ভূত হয় এবং তাপকে অন্য প্রকার শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায়। দুই খণ্ড পাথরে বা কাঠে ঠোকাঠুকি করিলে ইহারা গরম হয়। ইহাতে যান্ত্রিক শক্তি তাপ শক্তিতে পরিণত হয়। তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ



57নং চিত্র জেমস্ প্রেস্কট্ জুল

প্রবাহিত হইলে তার উষ্ণ হয়, তড়িৎ শক্তি তাপ শক্তিতে পরিণত হয়। ঘর্ষণ করিয়া দেয়াশালাইয়ের কাঠি জ্বালানো হয়। শীতকালে হাতে হাতে ঘষিয়া আমরা হাত গরম করি। কয়লা পোড়াইলে রাসায়নিক শক্তি তাপে রূপান্তরিত হয়। আবার তাপ হইতে যান্ত্রিক শক্তি ও অন্যান্য শক্তির উদ্ভব হয়। পতনশীল দ্রব্যের গতীয় শক্তি মাটিতে আঘাত করিলে তাপে পরিণত হয়। সাইকেল টায়ারে বায়ু পাম্প করিলে চোঙের গাত্রের সহিত পিস্টনের চাপে বায়ুর আয়তন অর্ধেক হইলে বায়ুর অণুর গতি এত বৃদ্ধি পায় যে টায়ারের উষ্ণতা প্রায় $80^\circ-90^\circ$ পর্যন্ত উঠিতে পারে। উল্কাগুলি বায়ুর মধ্যে এত দ্রুত বেগে ছুটিয়া যায় যে, এই কার্যে প্রভূত তাপ উৎপন্ন হয়, উল্কা জ্বলিয়া উঠে এবং পুড়িয়া ছাই হয়। অপর পক্ষে সংকুচিত কোন গ্যাস হঠাৎ প্রসারিত হইলে প্রসারণের কার্যে যে শক্তি ব্যয়িত হয় তাহা গ্যাসের নিজ দেহ হইতে আসে। ফলে ইহার উষ্ণতা কমে।

51. **তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক ঃ** দুইটি কাঠ বা দুইটি হাত ঘষিলে তাপ উৎপন্ন হয়। কোন ধাতব পাতকে অনবরত হাতুড়ির ঘা মারিলে উহা গরম হইয়া উঠে। ঘর্ষণ এক প্রকার কার্য। এই সকল উদাহরণ হইতে দেখা যায় যে, কার্যকে তাপে রূপান্তরিত করা যায়। এই কার্যের পরিমাণ ও উৎপন্ন তাপের পরিমাণ তাপ গতিবিদ্যার (Thermodynamics) **প্রথম নিয়ম** দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় :—**"যখন কার্য তাপে কিংবা তাপ কার্যে পরিণত হয় তখন কার্যের পরিমাণ যান্ত্রিকভাবে তাপের পরিমাণের সমান হয়।"** এই নিয়ম অনুসারে নির্দ্দিষ্ট পরিমাণ কার্যকে রূপান্তরিত করিলে সর্বদাই নির্দ্দিষ্ট পরিমাণ তাপ পাওয়া যায়। রূপান্তরিত কার্য ও উৎপন্ন তাপ সমানুপাতিক হয়। W আর্গ কার্য করিয়া যদি H ক্যালোরি তাপ উৎপন্ন হয় তবে

$$W \propto H \text{ or } W = JH \cdots (19)$$

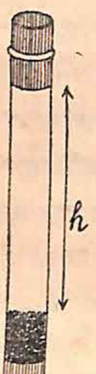
এখানে J-এর মান ধ্রুবক। ইহাকে **তাপের যান্ত্রিক-তুল্যাঙ্ক** বা **Joule তুল্যাঙ্ক** ( Joule's Equivalent ) বলে। ইহার সংজ্ঞা এইরূপ : **"যে পরিমাণ কার্য তাপে সম্পূর্ণ পরিবর্তিত হইয়া একক মাত্রার তাপ**

**উৎপন্ন করে, তাহাকে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক বলে।** এক একক (এক ক্যালোরি) তাপ হইতে প্রাপ্ত কার্যের পরিমাণ $=4{\cdot}185\times10^7$ আর্গ। আবার $4{\cdot}185\times10^7$ আর্গ কার্য হইতে এক ক্যালোরি তাপ উৎপন্ন হয়।

**52. J-এর মান নির্ণয় (Determination of Joule's Equivalent) :**

যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয়ের বিভিন্ন পদ্ধতি আছে। নিম্নে প্রথমে একটি সরল পরীক্ষা ও পরে জুলের পরীক্ষার কথা বর্ণনা করা হইল :—

(ক) একটি প্রায় 50 সেঃ মিঃ দীর্ঘ কাচের চোঙ কিছু সীসার গুলি (shots) দ্বারা ভর্তি করিয়া ইহার দুই মুখ কর্ক দ্বারা বন্ধ কর। একটি সুবেদী থার্মমিটার দ্বারা সীসার গুলির উষ্ণতা লও। চোঙকে কয়েকবার দ্রুত সোজাভাবে (vertically) উপর-নীচে উল্টাও। প্রত্যেকবার সীসার গুলি নির্দিষ্ট উচ্চতা হইতে নীচের কর্কের উপর পড়ে। উপরে সীসার স্থিতি শক্তি থাকে। পড়িবার সময় ইহা গতীয় শক্তিতে পরিণত হয়। যখন নীচের কর্কে সীসার গুলি স্পর্শ করে তখন গতীয় শক্তির সবটা তাপ-শক্তিতে পরিণত হয়, ইহার সামান্য অংশ শব্দ-শক্তিতে পরিণত হয়, সীসার উষ্ণতা বাড়ে। সীসার শেষ উষ্ণতা লও।




58নং চিত্র—J নির্ণয়ের সাধারণ পরীক্ষা।

**গণনা :** মনে কর সীসার ওজন $=m$ গ্রাম, যে উচ্চতা হইতে সীসাগুলি পড়ে সেই উচ্চতা $=h$, সীসার প্রাথমিক ও শেষ উষ্ণতার পার্থক্য $=\theta^\circ$C চোঙের মোট উল্টানোর সংখ্যা $=n$, সীসার আপেক্ষিক তাপ $=$S। সুতরাং সীসার স্থৈতিক শক্তি $=mgh$. এই শক্তি কার্যে পরিণত হয়। $n$ বারে মোট স্থৈতিক শক্তি $mn.gh.=$ মোট কার্য

আবার মোট উৎপন্ন তাপ $=ms\theta$

$$\therefore \text{ জুল } J=\frac{\text{মোট কার্য W}}{\text{মোট তাপ H}}=\frac{mngh}{ms\theta}=\frac{ngh}{s\theta}$$

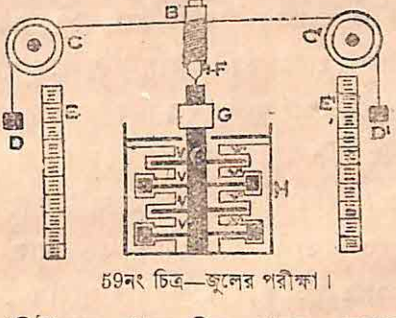
(খ) **J -এর মান নির্ণয়ের অন্য উপায় ঃ** মনে কর $m$ ভরের কোন দ্রব্য $u$ গতিতে চলে। ইহার গতীয় শক্তি $\frac{1}{2}mu^2$ হয়। কোন বাধা পাইয়া ইহা হঠাৎ থামিলে ইহার সমস্ত গতীয় শক্তি তাপ-শক্তিতে পরিণত হইবে। মনে কর ইহার উষ্ণতা $\theta^\circ$ বৃদ্ধি পায়, মনে কর $s$ বস্তুর আপেক্ষিক তাপ, পতন সংখ্যা $= n$

$$\therefore \text{ উৎপন্ন তাপ} = H = ms\theta$$

$$J = \frac{\text{মোট কৃত কার্য } W}{\text{মোট তাপ } H} = \frac{\frac{1}{2}mnu^2}{ms\theta} = \frac{nu^2}{2s\theta}$$

**জুলের পরীক্ষা ঃ**

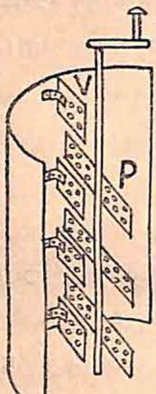
যন্ত্র ঃ বিশেষ ভাবে নির্মিত তামার H ক্যালোরিমিটারের ভিতরের গাত্রে চার জোড়া তামার ফলক (Vanes) V′ ঝালদ্বারা যুক্ত আছে। ইহারা অনুভূমিকভাবে ক্যালোরিমিটারের কেন্দ্রের দিকে প্রসারিত থাকে। দুইটি ফলকের মধ্যে ফাঁক থাকে। ক্যালোরিমিটারের উপরে একটি জলরোধক (water tight) ঢাকনা আছে। ঢাকনার ঠিক মধ্যস্থিত একটি ছিদ্র দিয়া অক্ষ (axis) বরাবর একটি মোটা তর্কু বা ঘুরাইবার মন্থন দণ্ড G ( spindle or shaft ) ক্যালোরিমিটারের ভিতর চলিয়া গিয়াছে। তর্কুর গাত্রে কতকগুলি V দাঁড় ( paddle ) পর্যায়ক্রমে ঝাল দিয়া জোড়া আছে। তর্কু ঘুরাইলে একটি দাঁড় দুইটি পাতের মাঝখানের ফাঁকের মধ্য দিয়া ঘুরিতে পারে। তর্কুর ঘুর্ণনের সঙ্গে সঙ্গে V দাঁড়গুলি



59নং চিত্র—জুলের পরীক্ষা।

ঘুরে, কিন্তু V′ পাতগুলি ক্যালোমিটারের গায়ে স্থির থাকে ; সুতরাং ক্যালোমিটারের সমস্ত জলটা একসঙ্গে ঘুরিতে পারে না। তর্কুটা একটি পিন F দ্বারা একটি লম্ব কাঠের চোঙ Bর সঙ্গে আটকানো থাকে। একটি স্ক্রু ঘুরাইয়া পিনটাকে সরানো যায়। দুইটি মোটা সুতার (cords) দুই প্রান্ত B চোঙের গায়ে একই দিকে জড়ানো আছে। ইহারা চোঙের

একই জায়গা হইতে দুই দিকে বাহির হইয়াছে। সূতার অপর দুই প্রান্ত দুইটি একই প্রকারের C ও C′ কপিকলের সঙ্গে আটকানো আছে। কপিকলের অক্ষ-দণ্ড (axle) হইতে দুইটি ওজন D ও D′ দড়ি দিয়া ঝুলানো আছে। ওজন নামিলে পর পর অক্ষ-দণ্ড ঘুরিবে, কপিকল ঘুরিবে, চোঙ ঘুরিবে, তর্কু ঘুরিবে, দাঁড় V ঘুরিবে। ওজন কতটা নীচে নামে তাহা দেখিবার জন্য দুইটি স্কেল E ও E′ আছে।




60নং চিত্র—ক্যালোরিমিটারের ভিতরের গঠন। V—ক্যালোরিমিটারের গায়ে লাগানো পাত; P—মন্থনদণ্ডে লাগানো পাত।

**পরীক্ষা :** ক্যালোমিটারে নির্দিষ্ট ওজনের জল রাখ। ঢাকনার একটি ছিদ্র দিয়া সুবেদী থার্মমিটার ঢুকাইয়া জলের উষ্ণতা লও। স্ক্রু ঘুরাইয়া F পিনকে আল্‌গা করিয়া B চোঙকে তর্কু হইতে খুলিয়া লও। হাতলের সাহায্যে B চোঙকে ঘুরাইয়া D ও D′ ওজন দুইটিকে স্কেলের একটি নির্দিষ্ট উচ্চতায় উঠাও। এইবার পিন আঁটিয়া তর্কুকে চোঙের সঙ্গে জুড়িয়া দাও ওজন নীচের দিকে নামে, সঙ্গে সঙ্গে কপিকল, চোঙ, তর্কু ও দাঁড় V ঘুরিতে থাকে এবং দাঁড়ের ঘূর্ণন-গতি জলকে ঘুরাইতে চেষ্টা করে, কিন্তু স্থির ফলকের (V′) দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হইয়া জলের গতীয় শক্তি তাপশক্তিতে পরিণত হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে জলের উষ্ণতা বাড়ে। ওজনের পাত্র নামিতে নামিতে মাটির নিকটবর্তী হইলে পিন আল্‌গা করিয়া খুব তাড়াতাড়ি চোঙ হইতে তর্কু খোল। হাতল বিপরীত দিকে ঘুরাইয়া B চোঙে সূতা জড়াইয়া ওজনকে পূর্বোক্ত উচ্চতায় পুনরায় তুলিয়া পিন আঁটিয়া ওজন ছাড়িয়া দাও। এইরূপ কয়েকবার করিবার পর জলের শেষ উষ্ণতা লও।

**গণনা :** মনে কর, প্রত্যেক ওজনের ভর $=M$ গ্রাম, ওজনের পতনের দূরত্ব $=h$ সেঃ মিঃ, ওজনগুলি যতবার উপর হইতে নীচে পড়ে তাহার সংখ্যা $=n$, জলের ভর $=m$ গ্রাম, ক্যালোরিমিটারের জল তুল্যাঙ্ক $=w$, জলের প্রারম্ভিক ও শেষ উষ্ণতা $=t_1^\circ$ ও $t_2^\circ$C.

প্রত্যেক ওজনের শেষ ( অর্থাৎ মাটি স্পর্শ করিবার ঠিক পূর্ব মুহূর্তের ) বেগ $=v$ সেঃ মিঃ প্রতি সেকেণ্ডে।

$\therefore$ $h$ উচ্চতায় দুই ওজনের প্রাথমিক স্থৈতিক শক্তি $=2Mgh$ আর্গ।

$\therefore$ দুই ওজনের মাটি স্পর্শ করিবার ঠিক পূর্ব মুহূর্তে গতীয় শক্তি $=\frac{1}{2}Mv^2 \times 2$ আর্গ $= Mv^2$ আর্গ।

$\therefore$ প্রত্যেক ওজনের পতনের সময় দাঁড় ঘুরাইতে নিয়োজিত শক্তি $=(2Mgh - Mv^2)$ আর্গ।

$\therefore$ $n$ বার পতনে মোট নিয়োজিত শক্তি বা কার্য $=W=(2Mgh - Mv^2) \times n$ আর্গ।

এই কার্যে মোট উৎপন্ন তাপ $H=(w+m)(t_2-t_1)$ ক্যালোরি।

$$J=\frac{W}{H}=\frac{(2Mgh - Mv^2)\times n}{(w+m)(t_2-t_1)}$$ আর্গ প্রতি ক্যালোরিতে।···(20)

**ভুল সংশোধন:** (ক) পরিবহন ও বিকিরণে তাপ-ক্ষয়ের জন্য সংশোধন করা দরকার। পরীক্ষার গোড়ায় ও শেষে তাপ-ক্ষয়ের হার (rate of cooling) লক্ষ্য করিয়া তাপ বিকিরণে তাপ-ক্ষয়ের সংশোধন করা হয়। ক্যালরিমিটারকে তাপ কুপরিবাহী দ্রব্যের উপর রাখিলে পরিবহনে তাপ-ক্ষয় নিবারিত হয়। (খ) কপিকলের ঘর্ষণের জন্য এবং দাঁড়ের ঘূর্ণন-শব্দের জন্য যে শক্তি ক্ষয় হয় তাহার জন্য সংশোধন করা দরকার। (গ) Regnault-এর নজির অনুসারে Joule জলের আপেক্ষিক তাপ সকল উষ্ণতায় সমান ধরিয়া লন। (ঘ) Joule ব্যবহৃত পারদ-থার্মমিটার গ্যাস-থার্মমিটারের মত কোন প্রামাণিক থার্মমিটারের সঙ্গে তুলনা করিয়া অংশাঙ্কিত করা ছিল না। Joule পরীক্ষায় J-এর মান 773·44 ফুট-পাউণ্ড প্রতি পাঃ-ডিগ্রি ফারেনহিট একক পাওয়া যায়। নির্ভুল মান $=778$ ফুট-পাঃ প্রতি পাঃ-ডিগ্রি ফারেনহিট একক।

**J-এর মান :** J=778 ফুট-পাঃ প্রতি পাউণ্ড-ডিগ্রি-ফারেনহিট
1 ফুট-পাউণ্ড $=30\cdot48\times453\cdot6\times981$ আর্গ, 1 পাঃ ডিঃ ফাঃ $=453\cdot6\times\frac{5}{9}$ ক্যাঃ

$$\therefore\quad J=\frac{778 \text{ ফুট-পাঃ}}{1 \text{ পাউণ্ড ডিগ্রি ফারেনহিট}}$$

$$=\frac{778\times30\cdot48\times453\cdot6\times981\times9 \text{ আর্গ}}{453\cdot6\times5 \text{ ক্যাঃ}}$$

$$=4\cdot186\times10^7 \text{ আর্গ প্রতি ক্যালোরি}$$

$$=4\cdot186 \text{ জুল প্রতি ক্যালোরি।}$$

সাধারণতঃ J-এর মানকে **$4\cdot2\times10^7$ আর্গ প্রতি ক্যালোরি** ধরা হয়।

**শক্তির নিত্যতা সূত্র :** জুলের এই পরীক্ষা প্রমাণ করে যে যান্ত্রিক শক্তি সংখ্যাত্মকভাবে তাপ শক্তিতে পরিণত হয়। অর্থাৎ এক প্রকার শক্তি অন্য প্রকার শক্তিতে রূপান্তরিত হয়, শক্তির ধ্বংস হয় না শক্তি উৎপন্ন হয় না। জুলের পরীক্ষা শক্তির নিত্যতা সূত্র প্রমাণ করে।

**53. স্টীম হইতে উদ্ভূত শক্তি (Energy given out by steam) :** 1 পাউণ্ড স্টীম 100°Cতে জল হইলে 965 পাউণ্ড-ফাঃ একক তাপ উদ্ভূত হয়। 1 পাউণ্ড ফারেনহিট তাপ (B.Th.U.)=778 ফুঃ-পাঃ কার্য, ∴ 965 পাঃ ফাঃ তাপ $=965\times778$ ফুঃ-পাঃ কার্য। অর্থাৎ 1 পাউণ্ড স্টীম হইতে যে শক্তি উদ্ভূত হয়, $\frac{750770}{2240}=335$ টন ভার 1 ফুট নামিলে সেই পরিমাণ শক্তি পাওয়া যায়। 1 পাউণ্ড জলকে ফুটাইয়া স্টীম করিতে একই পরিমাণ শক্তি দরকার। 1 পাউণ্ড বরফকে গলাইতে 144 পাউণ্ড-ফারেনহিট একক তাপ দরকার।

**অঙ্ক 1.** A mass weighing 10 Kilograms falls from a height of 1 Kilometre to the ground. If all the energy is converted into heat, find the amount of heat developed ?

এখানে $M=10$ কিলোগ্রাম $=10^4$ গ্রাম, $h=1$ কিলোমিটার $=10^5$ সেঃ মিঃ

$$W=Mgh=10^4\times981\times10^5 \text{ আর্গ}$$

$$H=\frac{W}{J}=\frac{971\times10^9}{4\cdot2\times10^7}=23357 \text{ ক্যালরি।}$$

2. With what velocity must the lead bullet at 50°C strike against an obstacle in order that the heat produced by the arrest of the motion, if all produced within the bullet, must be sufficient to melt it ? (Sp. heat of lead = 0·031, m.p. of lead = 335°C, latent heat of fusion of lead = 5·37)

( C. U. 1930, D. B. '32 )

মনে কর বুলেটের ভর $= m$ গ্রাম, বুলেটের গতি $= v$ সেঃ মিঃ। সীসা-গুলির (shot) গতীয় প্রতি সেকেণ্ডে শক্তি $= \frac{1}{2}mv^2$ আর্গ। এই শক্তি হইতে রূপান্তরিত তাপ $m$ গ্রাম সীসার উষ্ণতা 50°C হইতে 335°C পর্যন্ত বাড়াইবে এবং ইহাকে গলাইবে। $\therefore$ উদ্ভূত তাপ $H = m \times \cdot 031 \times (335 - 50) + m \times 5 \cdot 37 = m \times 14 \cdot 2$ ক্যালরি।

আমরা জানি, JH = কার্য বা শক্তি, $\therefore 4 \cdot 2 \times 10^7 \times m \times 14 \cdot 2 = \frac{1}{2}mv^2$

$\therefore \quad v = \sqrt{2 \times 4 \cdot 2 \times 14 \cdot 2 \times 10^7} = 34 \cdot 5 \times 10^3$ সেঃ মিঃ প্রতি সেকেণ্ড।

3. A meteor weighing 2000 kilograms falls into the sun with a velocity of 1000 kilometres per second. How many calories of heat will be produced ? ($J = 4 \cdot 19 \times 10^7$ ergs. per cal.)

( C. U. 1926 )

উল্কার গতীয় শক্তি $= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times (2000 \times 1000) \times (1000 \times 1000 \times 100)^2 = 10^{22}$ আর্গ = JH.

$$\therefore \quad H = \frac{10^{22}}{4 \cdot 19 \times 10^7} = 2 \cdot 38 \times 10^{14} \text{ ক্যাঃ।}$$

4. If the mechanical equivalent of heat be 779 foot-pound Fahrenheit units, from what height must 10 lbs of water fall to raise its temperature by 1°C.

মনে কর নির্ণেয় উচ্চতা $= h$ ফুট ; উষ্ণতা-বৃদ্ধি $= 1°$ সে. $= \frac{9}{5}$ F°. উৎপন্ন তাপ $H = 10 \times 1 \times \frac{9}{5} = 18$ B. Th. U. কৃতকার্য W = বল × দূরত্ব $= 10 \times h$ ফুট-পাউণ্ড।

$J = \frac{10 \times h}{18}$ বা $779 = \frac{10 \times h}{18}$, $h = 1402 \cdot 2$ ফুট।

5. A piece of steel of mass 1200 gm. is struck by a hammer weighing 960 Kgm. dropped from a height of 1·6 metres. Assuming 75% of the heat generated to be retained by the steel piece whose specific heat is 0°12., calculate its rise in temperature. (Mad. U. 1950)

হাতুড়ির ভর = 960 কিঃ গ্রাঃ $= 96 \times 10^4$ গ্রাম ; পতনের উচ্চতা = 1°6 মিঃ = 160 সেঃ মিঃ। মনে কর $g = 980$ সেঃ মিঃ/সেকেণ্ড$^2$. হাতুড়ির স্থৈতিক শক্তি $= 96 \times 10^4 \times 980 \times 160$ আর্গ। এই স্থৈতিক শক্তি সম্পূর্ণ গতীয় শক্তিতে পরিণত হয়। ইস্পাতকে আঘাত করিবার পূর্ব মুহূর্তে উৎপন্ন তাপ $H = \frac{W}{J}$. $J = 4{\cdot}2 \times 10^7$ আর্গ/ক্যালরি।

$$\therefore \quad H = \frac{96 \times 10^4 \times 980 \times 160}{4{\cdot}2 \times 10^7} = 3584 \text{ ক্যাঃ।}$$

এই তাপ শক্তির $75\% = 3584 \times \frac{3}{4} = 2688$ ক্যাঃ। ইহা ইস্পাতে গ্রহণ করে।

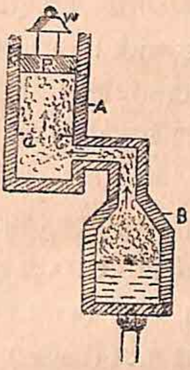
$$\text{সুতরাং উষ্ণতা বৃদ্ধি} = \frac{2688}{1200 \times 0{\cdot}12} = 18{\cdot}6°C. \text{ (প্রায়)}$$

## Heat Engines ( তাপ-চালিত এঞ্জিন )

জুল পরীক্ষা দ্বারা যান্ত্রিক শক্তিকে তাপ শক্তিতে পরিণত করেন। আবার তাপ শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তর করা যায়।

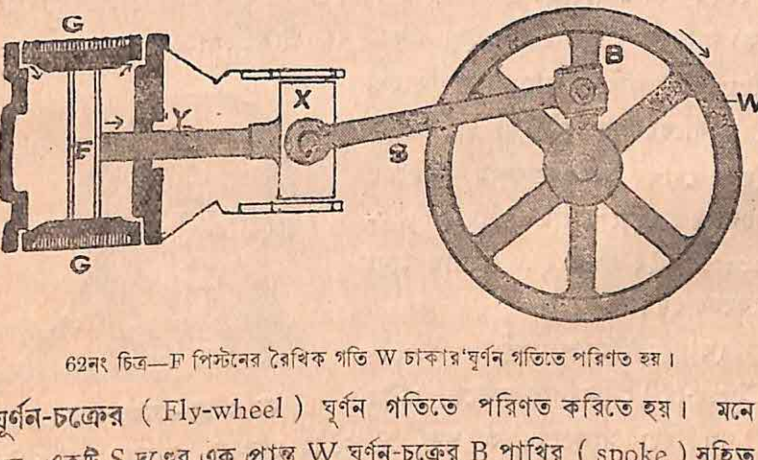
**54. স্টীমের প্রসারণ-বল দ্বারা কার্য (Work by the expansive force of steam) ঃ** যখন জল তাপে স্টীম হয় তখন ইহার অণুর গতীয় শক্তি বহুগুণ বৃদ্ধি পায়, সেই সঙ্গে জলের আয়তন 1670 গুণ বৃদ্ধি পায়। এই প্রসারণ-বলের (expansive force) দ্বারা স্টীম বহু কার্য করিতে পারে।

**পরীক্ষা ঃ** একটি মোটা শক্ত ধাতব চোঙ A-এর মুখে একটি স্টীম-নিরুদ্ধ পিস্টন P আছে। পিস্টন চোঙের গায়ে আঁটা দুইটি পিন $a$ ও $b$ পর্যন্ত নামিতে পারে। পিনের নীচে হইতে একটি পার্শ্বনল চোঙকে একটি পাত্র Bএর সঙ্গে সংযুক্ত করিয়াছে। পিস্টনের উপর W ওজন চাপাও। B পাত্রের জল বেশী করিয়া ফুটাও। স্টীমের প্রসারণ-চাপ পিস্টনটিকে ওজনসহ পৃথিবীর অভিকর্ষ-বলের বিরুদ্ধে উপরের দিকে ঠেলিয়া দিবে। (স্টীমের প্রসারণ ছাড়া যে-কোন গ্যাসের প্রসারণ-বলের দ্বারা কার্য হয়)। ইহা হইল এঞ্জিনের মূল নীতি। মনে রাখিবে 1 পাউণ্ড স্টীম জমিলে 536 ক্যালরি তাপ উদ্ভূত হয়। এই তাপ দ্বারাও কার্য হয়।




61 নং চিত্র—B পাত্রের স্টীমের বল W ওজনকে ঠেলিয়া তুলিতেছে।

55. **রৈখিক গতির ঘূর্ণন গতিতে পরিণতি ( Conversion of linear motion into rotatory motion ) ঃ** প্রত্যেক এঞ্জিনে পিস্টনের এদিক-ওদিক ( to and fro ) রৈখিক গতিকে **মূলদণ্ড** ( shaft ) সংযুক্ত



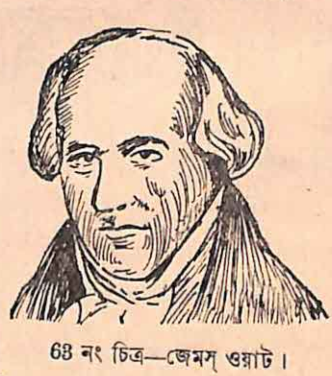

62নং চিত্র—F পিস্টনের রৈখিক গতি W চাকার ঘূর্ণন গতিতে পরিণত হয়।

**ঘূর্ণন-চক্রের** ( Fly-wheel ) ঘূর্ণন গতিতে পরিণত করিতে হয়। মনে কর, একটি S দণ্ডের এক প্রান্ত W ঘূর্ণন-চক্রের B পাখির ( spoke ) সহিত

যুক্ত আছে। S দণ্ডের অপর প্রান্ত Y পিস্টন-দণ্ডের ( piston-rod ) এক প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত আছে। আবার Y দণ্ডের অপর প্রান্ত F পিস্টনের সঙ্গে যুক্ত আছে। যদি কোন বলের দ্বারা F পিস্টনকে এদিক-ওদিক সরলরেখা-ক্রমে গতিসম্পন্ন করা যায় তবে W চাকা বৃত্তাকারে ঘুরিতে থাকিবে। চিত্রে তীরচিহ্ন দেখিয়া ইহা সহজেই বোঝা যায়।

56. **তাপ-এঞ্জিন :** এই যন্ত্র দিয়া কোন জ্বালানীর দহন হইতে উৎপন্ন **তাপ শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে** ( গতীয় শক্তিতে ) রূপান্তরিত করা যায়। সেইজন্য ইহাদিগকে **মূল চালক** (Prime mover) বলে। ইহা দুই প্রকারের হয়, যথা : (ক) **বহির্দহন** ( External combustion ) **এঞ্জিন :** ইহাতে ভিন্ন পাত্রে (boiler) কয়লার আগুনে জল ফুটাইয়া স্টীম প্রস্তুত হয়। অতএব এই দহন কাজটা এঞ্জিনের চোঙের বাহিরে হয়। (খ) **অন্তর্দহন** ( Internal combustion ) **এঞ্জিন**—ইহাতে গ্যাস বা তরল দহন করিয়া তাপ পাওয়া যায় এবং এই দহন-কাজটা এঞ্জিনের চোঙের মধ্যেই হয়। দাহ্য পদার্থের প্রকৃতি অনুসারে এই এঞ্জিনগুলি তিন প্রকারের, যথা—গ্যাস-এঞ্জিন, পেট্রোল-এঞ্জিন, তৈল-এঞ্জিন।

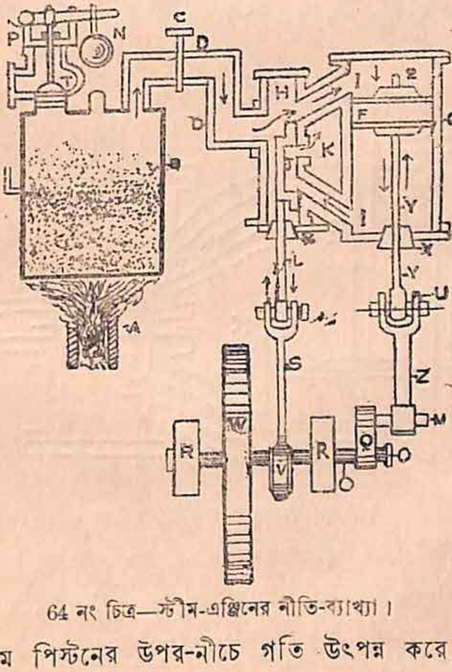
57. **স্টীম এঞ্জিন :** 1768 খৃষ্টাব্দে জেমস্ ওয়াট স্টীম এঞ্জিন আবিষ্কার করেন। নিম্নে সাধারণ স্টীম এঞ্জিনের বর্ণনা দেওয়া হইল। **যন্ত্রের বিবরণ :** (ক) **বয়লার** ( Boiler )—ইহা একটি বড় স্টীলের পাত্র B। A চুল্লীতে (furnace) **কয়লা** (জ্বালানী) পোড়াইয়া B বয়লারের জল ফুটাইয়া স্টীম প্রস্তুত হয়। বেশি অশ্বশক্তিসম্পন্ন এঞ্জিনের বয়লারে উচ্চচাপে অতিতাপিত (super-heated) স্টীম প্রস্তুত হয়। বয়লার নানা রকমের হয়।


63 নং চিত্র—জেমস্ ওয়াট।

(খ) **স্টীম-প্রকোষ্ঠ** ( Steam Chest-H ) **:** বয়লার হইতে স্টীম D নল দিয়া আয়তক্ষেত্রিক শক্ত H স্টীম-প্রকোষ্ঠে ঢোকে। C চাবি

দিয়া প্রকোষ্ঠে স্টীমের সরবরাহ নিয়ন্ত্রিত হয়। H স্টীম-প্রকোষ্ঠ G চোঙের সঙ্গে যুক্ত ( mounted ) থাকে। স্টীম-প্রকোষ্ঠে **তিনটি পথ** ( opening বা ports ) থাকে, মধ্যস্থ পথ K নির্গম নলের ( exhaust port ) সঙ্গে যুক্ত থাকে। নির্গম-নল দিয়া স্টীম বাহিরের বায়ুমণ্ডলে কিংবা কন্‌ডেন্সারযুক্ত এঞ্জিনের কন্‌ডেনসারে যায়। I ও I′ অপর দুইটি উপর ও নীচের পথ G চোঙের মধ্যে গিয়াছে। ( 64 ও 65 নং চিত্র )

(গ) **গতিশীল কপাট** ( Slide Valve ) : ইহা নানা ধরণের হয়। স্টীম-প্রকোষ্ঠের মধ্যে ইহা একটি বড় D-আকৃতির J কপাট। ইহা উপর-নীচে সঞ্চরণ করিয়া পর্যায়ক্রমে I ও I′ পথকে খুলিয়া ও বন্ধ করিয়া চোঙে স্টীম-প্রবেশ নিয়ন্ত্রণ করে। এই উপায়ে F পিস্টনের দুই দিক হইতে স্টীম

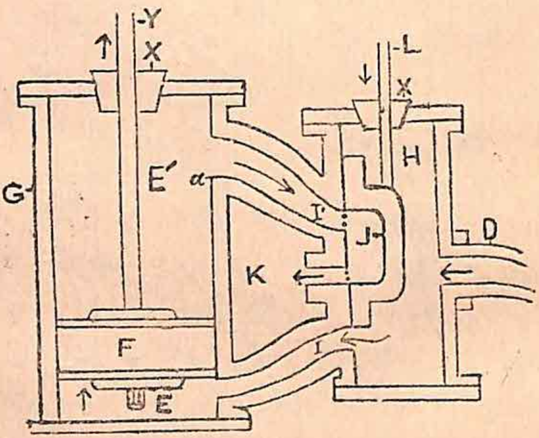



64 নং চিত্র—স্টীম-এঞ্জিনের নীতি-ব্যাখ্যা।

ঢুকিয়া পর্যায়ক্রমে পিস্টনের উপর-নীচে গতি উৎপন্ন করে। এঞ্জিন চালু থাকিলে স্টীম D-পথে স্টীম-প্রকোষ্ঠে ঢোকে, তথা হইতে একই সময়ে এক পথ দিয়া G চোঙে ঢোকে এবং অপর পথ দিয়া খানিকটা স্টীম চোঙ হইতে

J কপাটের মধ্য দিয়া K পথ দিয়া বাহির হইয়া যায়। স্টীম প্রকোষ্ঠ হইতে স্টীমকে বাহিরে আসিতে হইলে চোঙের মধ্য দিয়া আসিতেই হইবে। J কপাট L দণ্ডের সহিত যুক্ত থাকে। L দণ্ডটি X বাক্সের মধ্য দিয়া যাতায়াত করে। L দণ্ডটি S দণ্ডের সঙ্গে যুক্ত থাকে। আবার S দণ্ড V উৎকেন্দ্রিক রেকাবির (eccentric disc) সাহায্যে এঞ্জিনের O মূলদণ্ড বা চালকদণ্ডের ( main shaft or driving rod ) সহিত যুক্ত থাকে।

(ঘ) **চোঙ G ও পিস্টন** F ( 65 নং চিত্র ): G একটি খুব শক্ত চোঙ যাহা অতি উচ্চ চাপ সহিতে পারে। I ও I' পথ দিয়া চোঙের সঙ্গে স্টীম-প্রকোষ্ঠের যোগ স্থাপিত হয়। একটি স্টীলের স্টীম-নিরুদ্ধ পিস্টন (piston) F চোঙের ভিতরে গা ঘেঁষিয়া যাতায়াত করে। Y পিস্টন-দণ্ড (piston rod) চোঙের ঢাকনিতে স্থাপিত X প্যাকিং (packing) বাক্সের মধ্য দিয়া চলাচল




65 নং চিত্র—বাষ্পীয় এঞ্জিনের ক্রিয়া।

করে। Y দণ্ডটির অপর প্রান্ত ক্রস হেড ( cross head ) U-এর কেন্দ্রে Z দণ্ডের এক প্রান্তের সহিত যুক্ত থাকে। Z দণ্ডের অপর প্রান্ত ক্র্যাঙ্ক পিন ( crank pin ) দ্বারা Q ক্র্যাঙ্কের সহিত যুক্ত থাকে। ক্র্যাঙ্কটি O মূলদণ্ডের উপর বসানো থাকে। পিস্টনের তথা Y ও Z দণ্ডের এদিক-ওদিক রৈখিক গতি ক্র্যাঙ্কের সাহায্যে মূলদণ্ডের ঘূর্ণনগতিতে

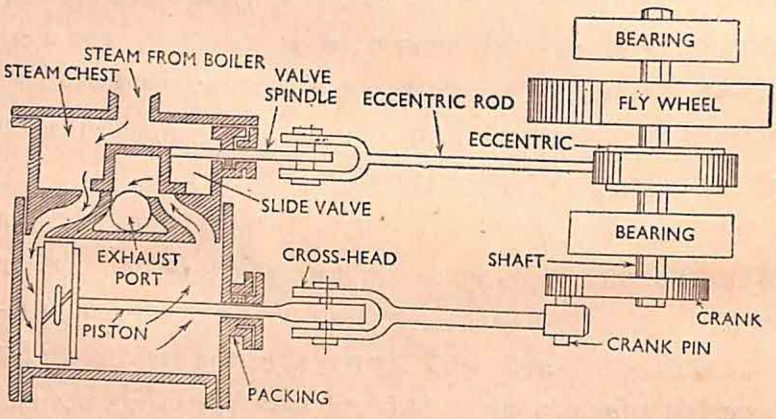
পরিণত হয়। লক্ষ্য করা দরকার যে, পিস্টন-দণ্ড Y বা Z এবং কপাট দণ্ড ( valve rod ) L বা S মূলদণ্ড Oর সহিত উৎকেন্দ্রিকভাবে এমন করিয়া যুক্ত থাকে যে, উহাদের গতি সর্বদাই বিপরীতমুখী অর্থাৎ যখন পিস্টন-দণ্ড উপরের দিকে যায় তখন কপাট-দণ্ড নীচের দিকে আসে।

(ঙ) ঘূর্ণন চক্র ( Fly Wheel-W ):—ইহা মূলদণ্ডের সহিত যুক্ত একটি প্রকাণ্ড ও ভারী চক্র। ইহার বেশী ভর ( heavy mass ) মূলদণ্ডকে সমগতিসম্পন্ন করে। মূলদণ্ড ঘুরিয়া যখন এমন অবস্থায় আসে যে চোঙের পিষ্টন F ডান দিকের শেষ সীমায় ও J কপাট বাম দিকের সীমায় পৌছায় তখন ইহারা আপনা হইতে বিপরীতদিকে চলিতে পারে না। কিন্তু ঘূর্ণন-চক্র একবার ঘুরিতে আরম্ভ করিলে নিজের অধিক ভরের ( mass ) জন্য অধিক গতি-জাড্য ( inertia of motion ) প্রাপ্ত হয় এবং এই জাড্যের জন্য থামিতে পারে না, সুতরাং পিস্টন ও বড় কপাট শেষ সীমায় পৌছিলেও ঘূর্ণন চক্রের জোরে বিপরীতদিকে ঘুরিবে।

(চ) নিরাপত্তা কপাট ( Safety Valve ): বয়লারে অত্যধিক স্টীম উৎপন্ন হইলে স্টীমের প্রচণ্ড চাপে বয়লার ফাটিয়া যাইতে পারে। সেইজন্য বয়লারের মাথায় এমন ব্যবস্থা আছে যাহাতে বয়লারে ষ্টীমের চাপ নিরাপত্তা-সীমার উর্দ্ধে উঠিলেই একটি কপাট T আপনা হইতেই খুলিয়া যায় এবং ষ্টীম P পথ দিয়া বাহির হইয়া যায়। N লিভার T কপাটকে নিয়ন্ত্রিত করে।

ক্রিয়া: (ক) বায়ুর চাপের 20 গুণ চাপে অতিতাপিত স্টীম বয়লার হইতে D নল দিয়া H স্টীম-প্রকোষ্ঠে ঢোকে এবং তথা হইতে মনে কর I নল দিয়া G চোঙের E অংশে ঢোকে। ঠিক এই সময়ে J কপাট দ্বারা I' পথ ও K নির্গম-পথের যোগ সাধিত হয় এবং চোঙের E অংশের ভিতর স্টীমের প্রসারণ-বল ক্রিয়া করিয়া পিস্টনকে উপর দিকে ঠেলিয়া দেয়। পিস্টনের এই রৈখিক গতির জন্য মূলদণ্ড O ঘুরিতে থাকে এবং এই ঘূর্ণনগতি উৎকেন্দ্রিক রেকাবি Vএর মারফত S দণ্ডে, তথা হইতে L দণ্ডে সঞ্চারিত হয়। L দণ্ড Y দণ্ডের বিপরীত দিকে চলে। (খ) যখন F পিস্টন উপরের দিকে চোঙের $a$ পর্যন্ত যায় তখন J কপাট বিপরীত দিকে নামে এবং J কপাট

দ্বারা I পথ ও K নির্গম-পথের যোগ সাধিত হয়। তখন স্টীম I′ পথ দিয়া চোঙের E′ অংশে ঢুকিয়া পিস্টনকে নীচের দিকে ঠেলিয়া দেয়। E অংশের স্টীম I ও K পথ দিয়া বাহির হইয়া যায়। এইরূপে J কপাট I ও I′ পথকে পর্যায়ক্রমে বন্ধ করিয়া ও খুলিয়া পিস্টনের এদিক-ওদিক গতি উৎপন্ন করে। পিস্টনের এই দুই পশ্চাৎ ও সম্মুখ গতি মিলিয়া একটি **গতি-চক্র** ( cycle of motion ) হয়। পিস্টনের পশ্চাৎ ও সম্মুখ গতি ক্র্যাঙ্ক মারফত মূলদণ্ডের ঘূর্ণন-গতিতে পরিণত হয়। পিস্টনের একবার পশ্চাৎ ও একবার সম্মুখ গতিতে মূলদণ্ডের তথা ঘূর্ণন-চক্রের একটি **সম্পূর্ণ আবর্তন** ( rotation ) হয়।




66 নং চিত্র—স্টীম এঞ্জিনের মূল অংশ।

প্রত্যেক আবর্তনে দুইবার—পিস্টনের প্রত্যেক গতির শেষ ও প্রথম মুহূর্তে—পিস্টন মুহূর্তের জন্য থামিয়া যায় এবং Q ক্র্যাঙ্ক ও Z দণ্ড একরেখায় আসে। পিস্টনের এই দুই অবস্থিতিকে **স্থির-বিন্দু** ( dead point ) বলে। এই দুই মুহূর্তে মূলদণ্ডের উপর পিস্টনের কোন ঘূর্ণন-ফল ( turning effect ) থাকে না। এই ভারী-ঘূর্ণন চক্রের গতি-জাড্যর ফলে ক্র্যাঙ্ক স্থির বিন্দু অতিক্রম করিয়া মূল চালকদণ্ডের গতি সাম্য অব্যাহত থাকে। আবার প্রত্যেক আবর্তনে দুইবার ক্র্যাঙ্ক Z দণ্ডের সহিত সমকোণে 90° আসে। তখন পিস্টনের ঘূর্ণন ফল সর্বাপেক্ষা বেশী হয়।

স্টীম প্রকোষ্ঠের কাছাকাছি অবস্থিত একটি কপাট (Throttle Valve) দ্বারা বয়লার হইতে চোঙে স্টীম-প্রবেশ প্রয়োজনানুসারে নিয়ন্ত্রিত হয়। কপাটটি আবার একটি নিয়ামক (governor) দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। ইহা মূল দণ্ডের উপর অবস্থিত স্বয়ং চালিত একটি যন্ত্র। ইহার দুই দিকে দুইটি বল থাকে। এঞ্জিনের গতি বাড়িলে বল দুইটি উপরে উঠে এবং গতি কমিলে নীচে নামে, বলের উঠা-নামা দ্বারা লিভারের সাহায্যে স্টীম প্রকোষ্ঠে স্টীমের পরিমাণ নিয়ন্ত্রিত হয়। মূলদণ্ডের গতি মূলদণ্ডের সঙ্গে যুক্ত কপিকল ও বেল্ট দ্বারা যে-কোন যন্ত্রে সঞ্চারিত করা যায়।

**58. এঞ্জিনের প্রকার :** (ক) উপরে বর্ণিত এঞ্জিনকে **দুইবার ক্রিয়াশীল** ( Double Acting ) এঞ্জিন বলে। কারণ পর্যায়ক্রমে পিস্টনের দুই দিক হইতে স্টীম বল প্রয়োগ করে। কতকগুলি এঞ্জিনে পিস্টনের একদিকে স্টীমের চাপ ও অপর দিকে বায়ুমণ্ডলের চাপ ক্রিয়া করে।

(খ) যে-সকল এঞ্জিনে চোঙ হইতে স্টীম নির্গম-পথ দিয়া বাহির হইয়া বায়ুতে মিশিয়া যায় তাহাকে **অঘনীকরণ** (non-condensing) এঞ্জিন বলে। পিস্টনের প্রত্যেক গতিতে আকস্মিক স্টীম উদ্গীরণে (puff) ইহা বুঝা যায়।

(গ) যে-সকল এঞ্জিনে চোঙ হইতে স্টীমকে ঘনীকরণ ( condenser ) নামক প্রকোষ্ঠে লইয়া অল্প চাপে ও উষ্ণতায় পুনরায় ঘনীকরণ করা হয় তাহাকে **ঘনীকরণ** ( condensing ) এঞ্জিন বলে। ঘনীকরণ এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা ( efficiency ) বেশী।

(ঘ) রেল গাড়ীর এঞ্জিনে ( Locomotive ) বয়লারের নীচে দুই পাশে দুইটি পিস্টন থাকে। ইহা ক্র্যাঙ্ক দ্বারা প্রকাণ্ড গতি-উৎপাদক চাকার ( driving wheel ) সঙ্গে যুক্ত থাকে। বয়লারের সম্মুখে ধূম-প্রকোষ্ঠ ( smoke box ) ও পশ্চাতে প্রকাণ্ড অগ্নি-প্রকোষ্ঠ ( fire box ) থাকে।

**59. এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা :**

$$\text{এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা} = \frac{\text{ঘণ্টায় সম্পাদিত কার্য}}{\text{ঘণ্টায় সরবাহিত তাপশক্তি}}$$

। উৎকৃষ্ট এঞ্জিনে যতটা তাপ সরবরাহ হয় তাহার 20% কার্যে পরিণত হয়, অবশিষ্ট তাপ ঘর্ষণ প্রভৃতি

বাধা অতিক্রম করিতে ব্যয় হয়। সাধারণ ইঞ্জিনে ইহা 10%। সাধারণতঃ অশ্বশক্তি দিয়া এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা প্রকাশ করা হয়। 550 ফুট পাঃ প্রতি সেকেণ্ডে – এক অশ্বশক্তি।

**60 অন্তর্দহন এঞ্জিন :** ইহা তিন প্রকার হয়, যথা (ক) পেট্রোল এঞ্জিন, (খ) তৈল এঞ্জিন, (গ) গ্যাস এঞ্জিন।

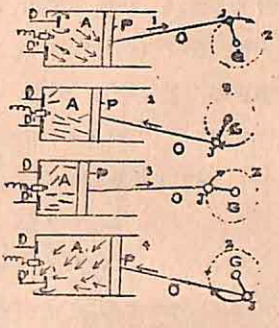
এই এঞ্জিনগুলি মোটরগাড়ী, বিমানপোত ও উড়োজাহাজে ব্যবহৃত হয়। কয়লা-গ্যাস কিংবা পেট্রোল, বেনজিন (benzene), কোহল দাহ্য পদার্থরূপে ব্যবহৃত হয়। এই তরলগুলি খুব উদ্বায়ী এবং ইহাদের বাষ্প ও বায়ুর মিশ্রণে অগ্নিসংযোগ হইলে বিস্ফোরণ ( explosion ) ঘটে। এই বিস্ফোরণের বলে (explosive force) পিস্টন গতিসম্পন্ন হয়। বন্দুকের ঘোড়া টিপিলে ঘর্ষণে অগ্নিস্ফুলিঙ্গ হইয়া বারুদে বিস্ফোরণ হয়। বিস্ফোরণে উষ্ণ গ্যাসের উৎপত্তি হয়। গ্যাসের চাপে বন্দুকের গুলি বেগে বাহির হয়। বন্দুক সরল অন্তর্দহন এঞ্জিন। যেখানে অল্প ক্ষমতার এঞ্জিনের প্রয়োজন, যেমন মটরকার, উড়ো জাহাজ সেখানে অন্তর্দহন এঞ্জিন ব্যবহৃত হয়।

61. **কার্যের নীতি :** সাধারণতঃ পিস্টনের চারিটি ধাক্কায় (strokes)—দুইটি সম্মুখ ও দুইটি পশ্চাৎ ধাক্কায়—একটি **কার্য-চক্র** ( a cycle of operation ) সম্পন্ন হয়। এই চার ধাক্কার সময়ে দাহ্য পদার্থ মাত্র একবার চোঙে ঢোকে। এইরূপ এঞ্জিনকে **চার-ধাক্কা** (four strokes) এঞ্জিন বলে। চারিটি ধাক্কা নিম্নলিখিত পর্যায় হয়, যথা :—

(ক) **প্রথম বা গ্যাস গ্রহণের ধাক্কা** (Charging stroke) : প্রারম্ভে বাহিরের হাতল ঘুরাইয়া এঞ্জিনকে চালু করিলে প্রথম ধাক্কায় P পিস্টন A চোঙের বাহিরের দিকে সরে। চোঙের ভিতরে আয়তন বৃদ্ধি পায় এবং D আগম-কপাট খুলিয়া (67 নং চিত্র I ও 68 নং চিত্র) পেট্রোল বাষ্প ও বায়ুর মিশ্রণ A চোঙের শূন্যস্থানে ঢোকে। এখন D, নির্গম-কপাট বন্ধ থাকে।

(গ) **দ্বিতীয় বা সংনমন ধাক্কা** (Compression stroke) : দ্বিতীয় ধাক্কায় পিস্টন চোঙের ভিতরে সরে, বায়ু মিশ্রিত পেট্রোল-বাষ্প প্রায় $\frac{1}{5}$ আয়তনে সংনমিত হয় এবং আগম-কপাট D ও নির্গম-কপাট $D^1$ বন্ধ হয়।

মিশ্রণের উষ্ণতা 600°C পর্যন্ত বাড়ে। এই ধাক্কার শেষে ও তৃতীয় ধাক্কার স্বরুতে প্লাগ হইতে বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গের দ্বারা বায়ুমিশ্রিত পেট্রোল-বাষ্প পুড়িয়া যায় এবং সঙ্গে সঙ্গে বিস্ফোরণ (explosion) হয়।



67 নং চিত্র—অন্তর্দহন এঞ্জিনের পিষ্টনের চারি ধাক্কা।

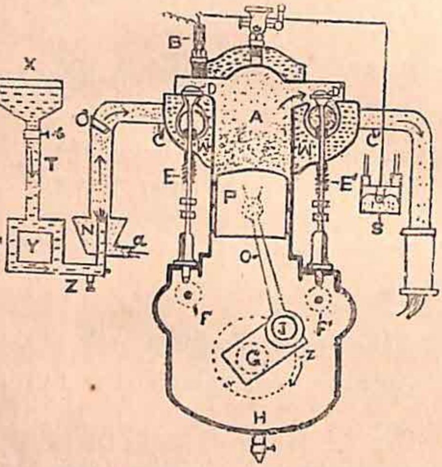
(ঘ) তৃতীয় বা কার্যকরী ধাক্কা (Working stroke): উপরোক্ত দহনে প্রভূত তাপ উদ্ভূত হয় এবং চোঙের ভিতরের গ্যাসের উষ্ণতা 2000°C উঠিয়া পড়ে। গ্যাসের চাপও বায়ুমণ্ডলের চাপের 15 গুণ বাড়িয়া যায়। এই প্রচণ্ড চাপে পিস্টন প্রবলবেগে বাহিরের দিকে সরিয়া আসে এবং গতিশক্তি ঘূর্ণন-চাকায় ( fly wheel ) সঞ্চারিত হয়। চার পর্যায়ের মধ্যে মাত্র এই পর্যায়ে এঞ্জিন কাজ করে। এই ধাক্কায় D, $D^1$ কপাটদ্বয় বন্ধ থাকে।

(ঘ) **চতুর্থ** বা **নিঃসরণ ধাক্কা** (**Exhaust stroke**): এই ধাক্কায় পিস্টন ভিতরের দিকে সরে। $D^1$ নির্গম-কপাট খুলিয়া দহনে উৎপন্ন গ্যাস বাহির হইয়া যায়।

নিঃসরণের পর পুনরায় প্রথম পর্যায় আরম্ভ হয়। এঞ্জিন কেবল তৃতীয় ধাক্কার সময়ে বিস্ফোরণে শক্তি পায়। অতএব ঘূর্ণন-চাকা খুব ভারী হওয়া দরকার যাহাতে এই ধাক্কায় লব্ধ গতির জাড্য পরবর্তী চতুর্থ, প্রথম ও তৃতীয় ধাক্কায় পিস্টনের গতিকে অব্যাহত রাখিতে পারে।

যন্ত্রের বিবরণ: পেট্রোল X আধার হইতে T নল দিয়া $B^1$ প্রকোষ্ঠে যায়। *b* প্যাঁচকল দিয়া প্রকোষ্ঠে পেট্রোলের পরিমাণ নিয়ন্ত্রিত হয়। এখানে একটা ফাত্না (float) Y থাকে। $B^1$ প্রকোষ্ঠ হইতে চাপ-প্রয়োগে *Z* নল দিয়া পেট্রোল N প্রকোষ্ঠে (carburettor) ঢোকে। এখানে পেট্রোল বাষ্পীভূত হয় এবং *a* নল দিয়া নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ু এই প্রকোষ্ঠে ঢোকে। বায়ুর সহিত পেট্রোল বাষ্প মিশানকে carburet বলে। O কপাট (Throttle

valve) দ্বারা দহন-প্রকোষ্ঠে (combustion chamber) বায়ুমিশ্রিত পেট্রোল-বাষ্পের সরবরাহ স্বতঃই নিয়ন্ত্রিত হয়। নির্দিষ্ট অনুপাতে পেট্রোল-বাষ্প ও বায়ুর মিশ্রণ C নল (inlet pipe) দিয়া $A^1$ দহন-প্রকোষ্ঠে ঢোকে। সেখানে ছিপি (plug) মারফত প্রাপ্ত তড়িৎ দিয়া মিশ্রণকে পোড়ানো হয়। S ম্যাগনেটো হইতে তড়িৎ সরবরাহ হয়। ম্যাগনেটো আবার এঞ্জিন দ্বারা চালিত হয়। দহন-প্রকোষ্ঠ হইতে বেগে গ্যাস A চোঙে ঢুকিয়া P পিস্টনকে ঠেলিয়া দেয় এবং দহনে উৎপন্ন গ্যাস নির্গম-নল $C^1$ দিয়া বাহির হইয়া যায়।

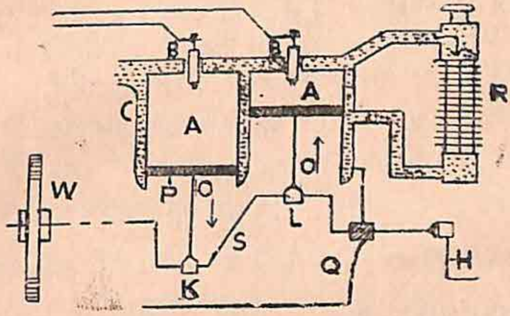



68 নং চিত্র—পেট্রোল এঞ্জিনের ক্রিয়া।

আগম-নল Cএর ও নির্গম-নল $C^1$এর মুখে দুইটি কপাট D ও $D^1$ আছে। D কপাট বায়ু-মিশ্রিত বাষ্পের C আগম-নল দিয়া চোঙে প্রবেশ স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থায় নিয়ন্ত্রিত করে এবং D কপাট চোঙ হইতে C' নির্গম-নল দিয়া দহনে উৎপন্ন গ্যাসের নিঃসরণ স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থায় নিয়ন্ত্রিত করে। কপাট দুইটি আসনের উপর E ও E' স্প্রিংয়ের দ্বারা নীচের দিকে টানিয়া বসানো থাকে। তখন কপাট বন্ধ থাকে। F ও $F^1$ ক্যাম (cam) দ্বারা স্প্রিং যথাসময়ে উপরে উত্তোলিত হয় এবং কপাট খুলিয়া যায়। ক্যাম দুইটি আবার এঞ্জিন-চালিত মূলদণ্ডের সহিত অন্য দণ্ড দ্বারা যুক্ত থাকে। P পিস্টন O দণ্ড দ্বারা ক্র্যাঙ্কের (67 ও 68 নং চিত্রে G ও 69 নং চিত্রে K ও L) সঙ্গে সংযুক্ত। মূলদণ্ড KSLQএর পশ্চাৎ দিকে ঘূর্ণন-চক্র W ও সম্মুখের দিকে হাতল H থাকে (69 নং চিত্র)।

P পিস্টনের গতির সঙ্গে O পিস্টন-দণ্ড গতি সম্পন্ন হয়, তৎসঙ্গে G ক্র্যাঙ্ক ও বড় চাকা ঘুরে। *a* চোঙের চারিধারে আবরণের (jacket) মধ্য দিয়া জলপ্রবাহ W চলিতে থাকে যাহাতে চোঙের ভিতরে উষ্ণতা 180° ফাঃএর

উপর না যায়। চোঙের চারিধারের উষ্ণ জল Radiator-এর মাথায় যায় তথা হইতে Radiator-এর মধ্য দিয়া নীচে নামে। Radiator নলের চারিধারে বাতাসের প্রবাহ চলিতে থাকে। ইহাতে জল শীতল হয়। এই শীতল জল আবার আবরণে ঢোকে।




69 নং চিত্র—দুই চোঙবিশিষ্ট এঞ্জিনের ক্রিয়া।

**মটর গাড়ীর এঞ্জিন** ঃ—মটর গাড়ী বা বিমানপোতের পেট্রোল-এঞ্জিনে সাধারণতঃ দুই বা দুয়ের গুণিতক সংখ্যক 4, 6, 8 ইত্যাদি চোঙ থাকে। সব চোঙের পিস্টনগুলি নিজ নিজ গতি ক্র্যাঙ্ক মারফত একই মূলদণ্ডে ( main shaft ) সঞ্চারিত করে। ইহাতে এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা বা কার্যকরী শক্তি বৃদ্ধি পায়। 69 নং চিত্রে এইরূপ একটি দুই-চোঙবিশিষ্ট এঞ্জিন দেখানো হইয়াছে। A, A—দুইটি চোঙ, O, O—পিস্টন দণ্ড ; KSLQ—মূলদণ্ড ; W—ঘূর্ণন-চক্র ; B—তড়িৎ চাবি , R—জল প্রবাহের radiator, H—হাতল। এই হাতল ঘুরাইয়া এঞ্জিন চালু করা হয়।

অঙ্ক ঃ A petrol engine uses every hour 1 lb. of petrol which produces 22,000 B. Th. U. of heat and has an efficiency of 30%. What is its H. P. ?

$$\text{এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা} = \frac{\text{ঘণ্টায় কার্যে পরিণত তাপ}}{\text{ঘণ্টায় সরবাহিত মোট তাপ}}$$

$\therefore$ কার্যে পরিণত তাপশক্তি $= \frac{30}{100} \times 22{,}000$ B. Th. U. প্রতি ঘণ্টায় $= 6600$ B. Th. U. প্রতি ঘণ্টায় $= 6600 \times 778$ ফুট-পাউণ্ড কার্য প্রতি

ঘণ্টায় $= \frac{6600 \times 778}{60 \times 60}$ ফুট-পাউণ্ড প্রতি সেকেণ্ডে ; 1 অশ্বশক্তি = 550 ফুট পাউণ্ড প্রতি সেকেণ্ডে $\therefore$ এঞ্জিনের অশ্বশক্তি $= \frac{6600 \times 778}{60 \times 60 \times 550} = 2{\cdot}59$ অঃ শঃ

2. An engine consumes 4 lbs of coal per horse power per hour. The heat developed by combustion of 1 lb. of coal is capable of converting 15 lbs. of water at 100°C into steam at 100°C. What percentage of heat produced is wasted? (Latent heat of steam = 964·8 B. Th. U. per lb.)

4 পাউণ্ড কয়লার দহনে উৎপন্ন তাপের পরিমাণ

$= 4 \times 15 \times 94{\cdot}8$ B. Th. U.

$= 4 \times 15 \times 964{\cdot}8 \times 778$ ফুট পাঃ

এঞ্জিন দ্বারা কৃত কার্য $= 33000 \times 60$ ফুট পাউণ্ড প্রতি ঘণ্টা প্রতি অশ্বশক্তি

$\therefore$ এঞ্জিনের কার্য ক্ষমতা $= \frac{33000 \times 60}{4 \times 15 \times 964{\cdot}8 \times 788} = 0{\cdot}043 = 4{\cdot}3\%$

ইহার অর্থ এই যে উৎপন্ন তাপের শতকরা 4·3 ভাগ কার্যে পরিণত হয় বাকী তাপ $100 - 4{\cdot}3 = 95{\cdot}7\%$ তাপ নষ্ট হয়।

62. **তৈল এঞ্জিন ঃ** অতি উত্তপ্ত ধাতব নলে (Vaporiser tube) তৈল কণার (spray) আকারে প্রবেশ করে এবং নলে বায়ুও প্রবেশ করে। তৈল বাষ্পীভূত হইয়া বায়ুর সঙ্গে মিশে। এই মিশ্রণে ক্ষুদ্র বিস্ফোরণ হয়। বিস্ফোরণের ফলে পিস্টন চলে।

Diesel তৈল-এঞ্জিনে প্রথম ধাক্কায় কেবল বায়ু কম চাপে চোঙে ঢোকে। দ্বিতীয় ধাক্কায় এই বায়ু অত্যন্ত সংনমিত হয়, তাহাতে অধিক তাপ উদ্ভূত হয়। সমস্ত কপাট বন্ধ থাকে। চোঙের উষ্ণতা প্রায় 540°C পর্যন্ত উঠে। তৃতীয় ধাক্কায় প্রথমে অত্যন্ত চাপে তৈলের বাষ্প চোঙে ঢোকে এবং অত্যন্ত উত্তপ্ত ও সংনমিত বায়ুর সংস্পর্শে আসিয়া তৈল-বাষ্প আপনিই পুড়িয়া যায়। গ্যাস আয়তনে বাড়ে, পিস্টন কার্য করে।

এই এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা বেশী। প্রায় শতকরা 40 ভাগ কেরোসিন তৈল ব্যবহার করা যায় বলিয়া ইহাতে খরচা কম। এই এঞ্জিন ডুবো-জাহাজে ও বাণিজ্য-জাহাজে ব্যবহৃত হয়।

**63. গ্যাস এঞ্জিন ঃ** ইহাতে 8 ভাগ বায়ু ও 1 ভাগ কয়লা-গ্যাস ব্যবহৃত হয়। ইহাতেও চার ধাক্কায় কাজ হয়। অতি-উত্তপ্ত নল দ্বারা কিংবা তড়িৎ-স্ফুলিঙ্গ দ্বারা গ্যাস পোড়ানো হয়।

**64. গ্যাস এঞ্জিন ও স্টীম এঞ্জিনের তুলনা ঃ** (ক) স্টীম এঞ্জিনে স্টীমের প্রসারণ-বলে (expausive force) পিস্টন চলে। গ্যাস এঞ্জিনে বায়ু ও গ্যাসের দহনে বিস্ফোরণের চাপে ( explosive force ) পিস্টন চলে। (খ) স্টীম এঞ্জিন বেশী জায়গা দখল করে, গ্যাস এঞ্জিন কম জায়গা দখল করে। (গ) স্টীম এঞ্জিনে ধোঁয়া হয়। গ্যাস এঞ্জিনে ধোঁয়া হয় না। (ঘ) গ্যাস এঞ্জিনে দাহ্য পদার্থের দাম বেশী বলিয়া খরচা বেশী পড়ে। (ঙ) স্টীম এঞ্জিন অপেক্ষা গ্যাস এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা বেশী। (চ) গ্যাস এঞ্জিন দরকার হইলে যে-কোন মুহূর্তে চালু করা যায়।

## সারাংশ

পূর্বে ধারণা ছিল তাপ এক প্রকার সূক্ষ্ম পদার্থ। রামফোর্ড, জুল ও ডেভি প্রমাণ করেন যে তাপ এক প্রকার শক্তি। তাপ অণুর গতীয়শক্তি। নির্দিষ্ট পরিমাণ কার্য নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ উৎপন্ন করে। $J=4{\cdot}2\times10^7$ আর্গ প্রতি ক্যালরি। যে যন্ত্রে তাপকে কার্যে পরিণত করা যায় তাহাকে তাপীয় এঞ্জিন বলে। এঞ্জিনের কার্যকরী বস্তু বয়লার হইতে তাপ গ্রহণ করিয়া উহার কিছু অংশ কার্যে পরিণত করে এবং বাকী অংশ শীতল কুণ্ডে ছাড়িয়া দেয়। এঞ্জিনের

$$\text{কার্যক্ষমতা}=\frac{\text{ঘণ্টায় সম্পাদিত কার্য}}{\text{ঘণ্টায় সরবাহিত তাপ}}$$

। ইন্ধন ( যথা কয়লা, গ্যাস, পেট্রোল ) পুড়াইয়া তাপ উৎপন্ন করা হয়।

## প্রশ্নাবলী

1. ব্যাখ্যা কর :—(i) যখন টায়ার পাম্প করা হয়, তখন পাম্প গরম হয়। (ii) যখন কোন বস্তু মাটিতে পড়ে তখন শব্দ হয় এবং বস্তুটিও একটু গরম হয়।

Explain ! (i) When a tyre is pumped, the pump is heated (ii) When an object falls on the ground, a sound is heard and the object is heated a little. ( C. U. 1917, '32. )

2. তাপ এক রকম শক্তি। এই মতের সমর্থনে কি প্রমাণ আছে ?

Heat is a form of energy. What are the proofs in support of the statement ? ( C. U. 1937 ; '41 ; A. U. 1918, 32 ; P. U. 1926 )

3. যদি একটি সীসার গুলি কোন স্থানে আঘাত করিলে উষ্ণতা 200° সেঃ এবং যদি সমস্ত তাপ গুলিতেই থাকে তবে গুলির বেগ কত ?

If a lead bullet hitting a place is heated through 200°C and all heat remains in the bullet, what is its velocity ?

( C. U. 1937, '41, '44 ) ( Ans. $22{\cdot}45 \times 10^3$ c. m. per second )

4. তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক কাহাকে বলে ? ইহাকে নির্ণয় করিবার একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। ইহার C. G. S ও F. P. S এককে মান লিখ।

What is mechanical equivalent of heat ? Describe an experiment to find it. What are its units in C. G. S and F. P. S units ?

( C. U. 1938, '39, '41 ; P. U. 1942, '44 ; A. U. 1916, '17, '24, '28 )

5. তাপ-গতিবিদ্যার প্রথম নিয়ম বল। এই নিয়মের সত্যতা নির্ণয় করিবার পরীক্ষা বর্ণনা কর।

State the First Law of Thermodynamics. Describe an experiment to prove it.

6. তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয়ের জুলের পরীক্ষা বর্ণনা কর। এক কিলোগ্রাম জলের উষ্ণতা 100°C বৃদ্ধি করিতে কত আর্গ কার্য প্রয়োজন ?

Describe Joule's experiment to determine mechanical equivalent of heat. What ergs of work are required to produce heat sufficient to raise the temp. of one Kgm of water through 100°C ? ( Ans. $4{\cdot}2 \times 10^{12}$ ergs )

7. 30 মিটার উচ্চতা হইতে পতিত হওয়ার জন্য লৌহের এক গুলির উষ্ণতা যদি 0·6° সেঃ বৃদ্ধি পায় তাহা হইলে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় কর। ( লৌহের আঃ তাপ = 0·12 ).

What is the mechanical equivalent of heat of the temperature of an iron. Shot is raised 0·6° when it falls from a height of 30 metres ?

( Ans. 4·08 Joule )

8. দুই লিটার জলের 15° সেঃ উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যত তাপ দরকার তাহার যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক কত ?

What is the mechanical equivalent of heat required to raise the temperature of 2 litres of water through 15°C ? ( Ans. $12{\cdot}54 \times 10^{10}$ ergs )

9. একটি উল্কার ওজন 300 কিলোগ্রাম এবং বেগ 2000 কিলোমিটার প্রতি সেকেণ্ডে। উহা কোন গ্রহ-কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হইল। উৎপন্ন তাপের মাত্রা কত?

A meteor weighs 300 Kgm and its velocity is 2000 Km. per second. It is resisted by a planet. What is the heat developed?

( Ans. $14 \cdot 35 \times 10^{13}$ calories )

10. $-5°$ সেঃ উষ্ণতার 10 গ্রাম বরফকে 100° সেঃ উষ্ণতার ষ্টীমে পরিণত করিতে কত কার্য দরকার? ( বরফের আঃ তাপ=0·5 ) ( এঃ বিঃ 1917 )

What is the amount of work required to convert 10 gms. of ice at $-5°$C to steam at 100°C? ( Sp. ht. of ice=0·5 ) ( Ans. $3 \cdot 0177 \times 10''$ ergs )

11. 300 সেঃ মিঃ উচ্চতা হইতে 2000 গ্রাম ভর পতিত হইলে কত তাপ উৎপন্ন হয় যদি সমস্ত শক্তি তাপে পরিণত হয়?

What is the heat produced when 2000 gms. fall from a height of 300 c.m. if all energy is converted into heat. ( কঃ বিঃ 1920 ) ( Ans. 14 calories )

12. কোন জলপ্রপাতের উচ্চ ও নিম্ন স্থানের উষ্ণতার পার্থক্য কত যদি উহাদের উচ্চতার পার্থক্য 200 মিটার হয়?

What is the difference of temperature between the highest and lowest points of a water-fall if the difference of height is 200 metres?

( Ans. 0·467° সেঃ )

13. চিত্রসহ একটি ষ্টীম এঞ্জিনের নীতি ও কার্যকারিতা বর্ণনা কর।

Explain the principle of a steam engine and describe its working.

( P. U. 1931, '38 ; C. U. 1923, '25, '38, '39 )

14. একটি আধুনিক পেট্রোল এঞ্জিন বর্ণনা কর। ইহার সম্পূর্ণ কার্য-চক্র বর্ণনা কর।

Describe a modern petrol engine and describe its full cycle of operation.

15. একটি লোহার বল 20 মিটারের পতনের দ্বারা 0·6°C উষ্ণ হয়। J গণনা কর।

A ball of iron has its temperature raised through 0·6°C through a fall of 20 metres. Calculate J. ( Ans. $4 \cdot 09 \times 10^{7}$ ergs/cal. )

16. একটি বরফের চাপ (0°C) কূপের জলে (0°C) নিক্ষেপ করা হইল। কত উচ্চ হইতে পড়িলে বরফের $\frac{1}{15}$ ভাগ গলিয়া যাইবে?

A block of ice is dropped into a well of water both ice and water being at 0°C. From what height must it fall to produce sufficient heat to melt $\frac{1}{15}$ of it.

( Ans. 2255·7 metres )

## নূতন ধরণের প্রশ্ন ( Objective Test )

### Completion Type :

**নির্দেশ :** শূন্য স্থান পূরণ কর। শূন্য স্থানের সংখ্যার সহিত সংখ্যা মিলাইয়া ডান পাশে প্রদত্ত স্থানে উপযুক্ত শব্দ বসাও।

(1) বিশ্বে যে কোন দুই — (1)
বস্তু পরস্পর — (1) করে। এই — (2)
— (2) পরিমাণ উহাদের — (3) — (3)
— (4) — (5) এবং বস্তুদ্বয়ের — (4)
— (6) — (7) — (8) — (5)
পরিবর্তিত হয়। — (6)
— (7)
— (8)

### Recall Type :

**নির্দেশ :** লাইনের ডান পাশে উপযুক্ত শব্দ বসাইয়া অনুক্তি পূরণ কর।

(1) C. G. S. প্রণালীতে বলের মূল একক —
(2) F. P. S. প্রণালীতে বলের মূল একক —
(3) পৃথিবীর আকর্ষণকে বলে —
(4) C. G. S প্রণালীতে কার্যের একক —
(5) F. P. S প্রণালীতে ক্ষমতার ব্যবহারিক একক —

### Alternate Response Type :

#### (*a*) Yes or No type

**নির্দেশ :** নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির মধ্যে যেগুলি নির্ভুল তাহাদের পাশে Y ও যেগুলি ভুল তাহাদের পাশে N লিখ।

(1) কার্য করিবার হারকে ক্ষমতা বলে কি?
(2) বিকৃতি কি পীড়নের সমানুপাতিক হয়?
(3) শক্তির কি ধ্বংস হয়?
(4) কোন বস্তু উপর তুলিলে তাহার কি স্থৈতিক শক্তি থাকে?

#### (*b*) True or False Type :

**নির্দেশ :** সত্য উক্তির পাশে T ও মিথ্যা উক্তির পাশে F লিখ।

(1) কোন নির্দিষ্ট দিকে কোন বস্তুকণার অবস্থান সময়ের সহিত যে হারে পরিবর্তিত হয় তাহাকে বেগ বলে।

(ii) একটি মটর গাড়ী ঘণ্টায় 40 মাইল বেগে সরলরেখায় চলে। সুতরাং ঐ সময়ে কার্যতঃ কোন বল ক্রিয়া করে না।

### Association Type :

:: চিহ্নের বাম দিকের দুইটির যে সম্পর্ক ডান দিকের দুইটির সেই সম্পর্ক। সম্পর্ক বজায় রাখিয়া ডান দিকের শূন্য স্থান পূরণ কর।

ফুট : ফুট পাউণ্ডাল :: সেন্টিমিটার :—
প্রযুক্ত বল : পীড়ন :: ক্রিয়া :—

# দ্বিতীয় খণ্ড

# SOUND OR ACOUSTICS

## শব্দ-বিদ্যা বা স্বন্-বিদ্যা

### প্রথম অধ্যায়

### Production and Medium of Sound

### ( শব্দের উৎপত্তি ও মাধ্যম )

65. **শব্দ এক প্রকার শক্তি :** যে শক্তি আমাদের কর্ণের অনুভূতিকে (sensation) জাগ্রত করে তাহাকে **শব্দ** বলে। এই অনুভূতি আমরা কর্ণদ্বারা গ্রহণ করিয়া মস্তিষ্কে পাঠাই। এই শ্রবণানুভূতির বাহিক কারণ হইল শব্দ-শক্তি।

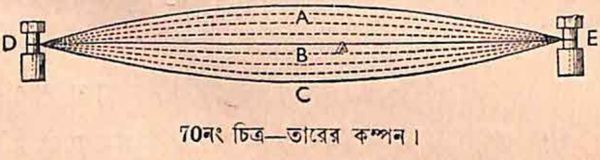
শব্দ যে এক প্রকার শক্তি তাহা নিম্নের ঘটনা হইতে বোঝা যায়। কোন ঢোলকের পর্দার উপর কিম্বা ঢাকনা দ্বারা বন্ধ কোন খালি টিনের পাত্রের উপর হাত স্পর্শ করাইয়া নিকটে জোরে শব্দ করিলে ঢোলকের পর্দা বা পাত্র সামান্য কাঁপিয়া উঠে। নিকটে ভীষণ বজ্রপাত হইলে বজ্রপাতের শব্দে জানালার কাঁচ ঝন্ ঝন্ করিয়া কাঁপিয়া উঠে। অতএব দেখা যায় যে শব্দ সাময়িকভাবে কোন কোন পদার্থে কম্পন সৃষ্টি করে অর্থাৎ শব্দ কার্য করে। শব্দ এক প্রকার শক্তি।

66. **শব্দ-বিদ্যার ইতিহাস :** শব্দ-বিদ্যার সঙ্গে মানবজাতি বহু দিন হইতে পরিচিত। বাঁশী, ঢোল, ঢাক প্রভৃতি সঙ্গীত-যন্ত্রের সুমধুর শব্দ মানব-মনকে বহুযুগ হইতে আকৃষ্ট করিয়া আসিয়াছে। প্রত্যেক দেশেই সঙ্গীত-চর্চা খুব উচ্চস্থান অধিকার করে। সঙ্গীত-বিদ্যা শব্দ-বিদ্যার একটি অঙ্গবিশেষ। কিন্তু বৈজ্ঞানিক ভাবে শব্দ-বিদ্যার চর্চা খুব বেশী দিন আরম্ভ হয় নাই। মনে হয় পীথাগোরাস ( Pythagorus ) প্রথম বৈজ্ঞানিকভাবে শব্দবিদ্যার চর্চা করেন। তিনি প্রথমে তারের যন্ত্রের ( stringed instrument ) স্পন্দনের নিয়ম আবিষ্কার করেন। তিনিই প্রথমে ঘোষণা করেন যে শব্দ-শক্তি বায়ুতে এক প্রকার তরঙ্গ বিশেষ। ইহা আমাদের কর্ণপটাহে আঘাত করিয়া শ্রবণা-

নুভূতি জাগায়। নিউটন (1642-1727) প্রথম শব্দ-তরঙ্গের গতির কৌশল (mechanism) সম্বন্ধে ব্যাখ্যা করেন।

67. **শব্দের উৎপত্তি**ঃ আমরা দেখিয়াছি এক স্থানের শব্দে অন্য স্থানের বস্তুতে কম্পন সৃষ্টি হয়। আবার দেখা যায় স্বনকের (source of sound) দ্রুত কম্পন (vibration) হইতে কর্কশ বা মিষ্ট সব রকম শব্দের উৎপত্তি হয়। (শব্দের উৎপত্তি-স্থলকে **স্বনক** বলে)। যখনই আমরা কোন শব্দ শুনি তখন অনুসন্ধান করিলে দেখিব যে শব্দের উৎপত্তি-স্থলে কোন বস্তু দ্রুত কাঁপিতেছে। আমরা অনেক সময় স্বনক স্পর্শ করিলে এই কম্পন অনুভব করিতে পারি কিংবা চোখে দেখিতে পারি। কাঁসার দ্রব্যে যথা কাঁসার গ্লাস বাটি প্রভৃতিতে আঘাত করিলে কাঁসার দ্রব্য কাঁপিতে থাকে, শব্দ বাহির হয়। দ্রব্যের কিনারা বেশ কাঁপিতে দেখা যায়। কম্পমান কাঁসার দ্রব্যে হাত দিলে কম্পনও বন্ধ হয়, শব্দও থামিয়া যায়। তারযন্ত্রে (যেমন বেহালা, এসরাজ) তারকে কাঁপাইলে তারের কম্পন হইতে শ্রুতিমধুর শব্দ উৎপন্ন হয়। কাঠির আঘাতে ঢাকের চামড়ায় আঘাত করিলে চামড়ার কম্পন হইতে বাজনা নির্গত হয়। কাঁসার ঘণ্টায় আঘাত না করিলে উহা বাজে না। কথা বলিবার সময় গলায় হাত দিয়া স্পর্শ করিলে গলার কম্পন স্পষ্ট বোঝা যায়। স্কুলে কাঁসার ঘণ্টায় জোরে কাঠের হাতুড়ি দিয়া আঘাত করিলে উহা বাজিয়া উঠে। যতক্ষণ উহা কাঁপিতে থাকে ততক্ষণ উহা হইতে শব্দ বাহির হয়।

**পরীক্ষা**ঃ (ক) **তারের কম্পন**ঃ দুইটি দণ্ড E ও D-তে একটি তার সটান করিয়া (tightly) বাঁধ। তারের মাঝখান B বিন্দুকে টানিয়া ছাড়িয়া

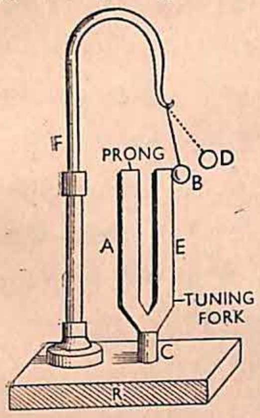



70নং চিত্র—তারের কম্পন।

দাও। তার A ও C বিন্দু পর্যন্ত কাঁপিতে থাকে। তারকে অস্পষ্ট ও একটু চওড়া দেখা যায় এবং শব্দ বাহির হয়। কম্পমান তারের মাঝখানে এক টুক্‌রা

V আকারের পাতলা কাগজ রাখিলে তারের কম্পনে উহা কাঁপিতে কাঁপিতে দূরে নিক্ষিপ্ত হয়। তার যতক্ষণ কাঁপে ততক্ষণ শব্দ বাহির হয়।

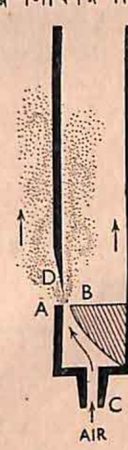
(খ) **Tuning Fork-এর (সুর-শলাকার) কম্পন**ঃ ইহা একটি A, E দুই বাহু (prong) বিশিষ্ট ও C হাতল বিশিষ্ট U আকারের স্থিতিস্থাপক ইস্পাতের শক্ত দণ্ড। ইহা একটি ফাঁপা কাঠের বাক্সের (R) উপর বসানো আছে। কাপড় জড়ানো হাতুড়ি (padded hammer) দিয়া বাহুকে আঘাত কর। বাহুদ্বয় কাঁপিতে থাকে এবং অস্পষ্ট ভাবে দেখা যায়। বাহুর কম্পন হইতে সুমিষ্ট শব্দ বাহির হয়। একটি লম্বমান শোলার B বলকে (pithball) কম্পমান বাহুর গায়ে লাগাও। উহা বার বার পার্শ্বে D অবস্থানে সরিয়া যায়, আবার বাহুর গা স্পর্শ করে।




71নং চিত্র—সুর-শলাকার কম্পন।

কম্পমান বাহুতে হাত দাও, কম্পন ও শব্দ দুইই বন্ধ হয়। সুর শলাকার পরিবর্তে কাঁসার গ্লাস রাখিলে একই ফল পাওয়া যায়।

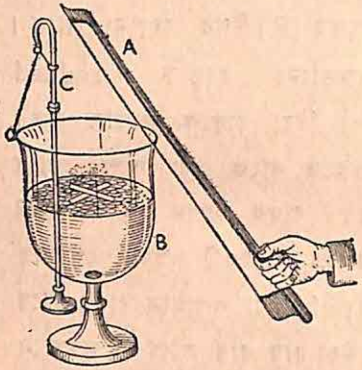
(গ) **Piped Instrument-এর (নলাকৃতি যন্ত্রের) কম্পন**ঃ বাঁশী, পিকোলো (Piccolo) প্রভৃতি যন্ত্র ইহার অন্তর্গত। ইহারা সাধারণতঃ একটি ফাঁপা নল। C মুখ খুব সূচাল, উপর মুখ খুব চওড়া। উপর মুখ বন্ধ বা খোলা হইতে পারে। C মুখের কাছে সরু ও চওড়া অংশের সংযোগস্থলে প্রিজমের আকারের একটা পর্দা (partition) B থাকে। পর্দার পাশেই A সরু ছিদ্র থাকে। A ছিদ্রের কাছে নলের D অংশ একটু সূচাল থাকে। C মুখে ফুঁ দিয়া নলে বাতাস ঢোকাও; নলের ভিতর বাতাস কাঁপিতে থাকে। বাতাসের কম্পন হইতে




72নং চিত্র—বাঁশীতে বায়ুর কম্পন।

নলে সুমিষ্ট শব্দ উৎপন্ন হয়। বালিপূর্ণ একটি ছোট ডিস খোলা মুখ দিয়া নলের মধ্যে নামাও ; দেখ, বালিকণা বাতাসের কম্পনে নাচিতে থাকে।

(ঘ) **Reed Instrument-এর ( পত্রী যন্ত্রের ) কম্পন** ঃ হারমোনিয়ম, ক্লেরিয়োনেট (Clarionet) প্রভৃতি এইরূপ পত্রী যন্ত্র। এই সকল যন্ত্রে একটি ছিদ্র দিয়া একটি আয়তক্ষেত্রিক প্রকোষ্ঠে বায়ু ঢোকানো হয়। ছিদ্রের মুখে একটি পাতলা ধাতব পাত থাকে। ইহাকে **পত্রী** (reed) বলে। বায়ু এই পত্রীকে ধাক্কা দিয়া দ্রুত কাঁপাইতে থাকে। পত্রীর কম্পন হইতে সুমিষ্ট স্বর বাহির হয়। পত্রীকে স্পর্শ করিলে কম্পন ও শব্দ দুইই বন্ধ হয়।



74নং চিত্র—জলপূর্ণ পাত্রের কম্পন।

(ঙ) **জলপূর্ণ পাত্রের কম্পন** ঃ একটি চওড়া ও লম্বা কাচপাত্র B-তে জল ঢাল। একটি শোলার ছোট বল দণ্ড C হইতে এমনভাবে ঝুলাও যাহাতে বলটি পাত্রের কিনারা স্পর্শ করে। বেহালার ছড় A দিয়া পাত্রের কিনারায় আস্তে আস্তে টান। পাত্রটি কাঁপিতে থাকে, বলটি নাচিতে থাকে এবং সুমিষ্ট শব্দ বাহির হয়। পাত্রের কম্পনে জলও কাঁপিতে থাকে এবং জলে ছোট ছোট ঢেউ দেখা যায়। পাত্রকে হাত দিয়া স্পর্শ করিলে কম্পনও বন্ধ হয়, শব্দও বন্ধ হয়।

গ্রামোফন যন্ত্রে একটি লিভারের সাহায্যে একটি চাকতি কাঁপিতে থাকে। ইহাতে শব্দ উত্থিত হয়।

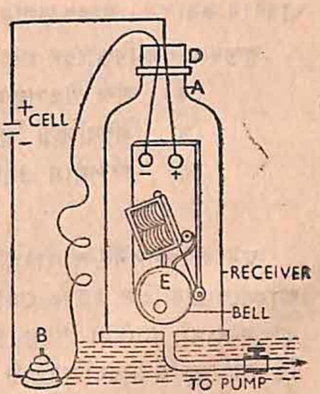
এই সকল পরীক্ষা হইতে ইহা নিঃসন্দেহে প্রমাণ হয় যে **শব্দ উৎপন্নের জন্য কোন বস্তুকে কাঁপাইতে হইবেই**। এই কম্পনের প্রকৃতি পরে বলা হইবে।

এইবার আমরা নিম্নের পরীক্ষা দ্বারা দেখাইব যে বস্তুর এই কম্পন সাধারণতঃ **বায়ুর মধ্য** দিয়া প্রবাহিত হইয়া আমাদের কানের পর্দায় (ear-drum) দ্রুত কম্পন উৎপন্ন করে এবং পর্দার এই কম্পন মস্তিষ্কে পৌছায় তবে আমরা শব্দানুভূতি পাই। মনে রাখিবে, কম্পনের এক সেকেণ্ডে পূর্ণ স্পন্দন

সংখ্যা ( frequency ) যদি 30 হইতে 40,000-এর মধ্যে হয় তবেই আমরা শব্দ শুনিতে পাই।

68. **Sound Medium ( শব্দ মাধ্যম ):** উৎপত্তি-স্থল হইতে শব্দ একটি বাস্তব (material) মাধ্যমের মধ্য দিয়া বিস্তৃত হইয়া আমাদের কানে পৌঁছায়। এই বাস্তব মাধ্যম কঠিন, তরল কিংবা গ্যাস হইতে পারে। বড় টেবিলের এক ধারে ঘড়ি রাখিয়া অপর ধারে কান রাখিলে আমরা কাঠের মধ্য দিয়া ঘড়ির টিক্ টিক্ শব্দ শুনিতে পাই। রেলের লাইনের উপর কান রাখিলে রেল লাইনের মধ্য দিয়া বহুদূরের ট্রেনের গতির শব্দ শোনা যায়। পুকুরের জলের মধ্যে এক কোণে কেহ হাততালি দিলে জলের মধ্য দিয়া পুকুরের অপর কোণ হইতে হাততালির শব্দ শোনা যায়।

তবে বায়ু হইল শব্দ-শক্তি বিস্তারের সাধারণ মাধ্যম। আলোক ও শব্দের বিস্তারের একটি পার্থক্য এই যে, আলোক-বিস্তারের জন্য কোন বাস্তব মাধ্যম দরকার হয় না। ইহা শূন্যের মধ্য দিয়া যায়। শব্দশক্তি যে বায়ু মাধ্যম দিয়া যায় শূন্য মাধ্যম (vacuum) দিয়া যায় না, নিম্নলিখিত পরীক্ষা হইতে বোঝা যায়।




74 নং চিত্র—শব্দ-শক্তি বায়ু মাধ্যমে যায়, শূন্য মাধ্যমে যায় না।

পরীক্ষা: বায়ু-নিষ্কাশক যন্ত্রের ( air-exhaust pump ) প্লেটের উপর একটি কাচের বেলজার ( receiver ) A চাপা দাও। বেলজার ও প্লেটের সংযোগস্থলে ভেসেলিন দাও যাহাতে বেলজার বায়ু নিরুদ্ধ ( air-tight ) হয়। বেলজার A এর মধ্যে একটি বৈদ্যুতিক ঘণ্টা E (electric bell) তার দিয়া ঝুলাইয়া রাখা হইয়াছে। তারের দুই প্রান্ত B বোতাম মারফত C তড়িৎ-কোষের সঙ্গে যুক্ত থাকে। B বোতাম টিপিলে C তড়িৎ-কোষ (cell) হইতে তারের মধ্য দিয়া বিদ্যুৎ আসিয়া ঘণ্টাকে বাজাইতে থাকে। D রবার ছিপি

দিয়া A প্রকোষ্ঠের মুখ বন্ধ থাকে। যতক্ষণ প্রকোষ্ঠে বায়ু থাকে ততক্ষণ ঘণ্টার শব্দ শোনা যায়। পাম্প দ্বারা বায়ু যতই নিষ্কাশিত হইতে থাকে ততই শব্দ ক্ষীণতর হয়। প্রকোষ্ঠ প্রায় বায়ুশূন্য হইলে শব্দ শ্রুতিগোচর হয় না যদিও বাহির হইতে দেখা যায় যে হাতুড়ি ঘণ্টার উপর পড়িতেছে এবং ঘণ্টাও কাঁপিতেছে। প্রকোষ্ঠে পুনরায় বায়ু ঢোকাইলে ঘণ্টার শব্দ আবার শোনা যায়। ঘণ্টার কম্পন প্রকোষ্ঠের বায়ুতে কম্পন সৃষ্টি করে। এই কম্পন আবার কাচের পাত্রে কম্পন সৃষ্টি করে। কাঁচের কম্পনে বাহিরের বায়ু কম্পিত হয়। উহা আবার আমাদের কানের পর্দায় আঘাত করে। ইহারা সকলেই জড় মাধ্যম। পাত্র বায়ুশূন্য হইলে জড় মাধ্যম না থাকায় শব্দ শোনা যায় না।

ইহা হইতে দেখা যায় যে, শূন্য মাধ্যম দিয়া শব্দ যায় না। শব্দ কঠিন মাধ্যমের মধ্য দিয়া যায় বলিয়া ঘণ্টা ঝুলাইবার সুতা ও বিদ্যুৎ-প্রবাহের তার দিয়া অতি ক্ষীণ শব্দ শোনা যায়। এই মাধ্যম **নিরবিচ্ছিন্ন ও স্থিতিস্থাপক** হওয়া চাই। মাধ্যম স্থিতিস্থাপক না হইলে শব্দ-শক্তি অল্প দূরে যাইয়াই তাপ শক্তিতে পরিণত হয়। তূলা, কাঠের গুঁড়া, বালি প্রভৃতি বস্তু শব্দরোধক হিসাবে ব্যবহার করা হয়। কারণ তূলার আঁশ বা কাঠের গুঁড়া বা বালির দানা বিচ্ছিন্ন।

সুতরাং শব্দ-বিস্তারের জন্য তিনটি জিনিস দরকার। যথা :—

(ক) **শব্দ উৎপন্নকারী কম্পমান দ্রব্য,**

(খ) **নিরবচ্ছিন্ন স্থিতিস্থাপক বাস্তব মাধ্যম,**

(গ) **কম্পমান গ্রাহক, যথা কানের পর্দা।**

## সারাংশ

স্বনকের কম্পনই শব্দোৎপত্তির কারণ। স্বনকের শক্তি কম্পনের তরঙ্গের আকারে প্রবাহিত হইয়া শ্রোতার কানে শব্দের অনুভূতি জাগ্রত করে। কম্পন-সংখ্যা 40000 পর্যন্ত হইলে শব্দ শোনা যায়। শব্দবিস্তারের জন্য স্থিতিস্থাপক ও নিরবচ্ছিন্ন জড় মাধ্যম প্রয়োজন।

## প্রশ্ন

1. শব্দ-বিস্তারের জন্য জড় মাধ্যম দরকার—পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ কর।

Prove by experiment that a material medium is necessary for sound propagation. (C. U. 1934)

2. পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ কর যে, কম্পন হইতে শব্দের উৎপত্তি হয়।

Prove by experiment that sound is produced by vibration. (C. U. 1936, '46)

# দ্বিতীয় অধ্যায়

## Waves ( তরঙ্গ ) ও Wave Properties ( তরঙ্গের ধর্ম )

**68A.** আমরা পূর্ব অধ্যায়ে দেখিয়াছি যে কোন বস্তুর **কম্পন** হইতে শব্দের উৎপত্তি হয়। এইবার আমরা কম্পনের প্রকৃতি সম্পর্কে আলোচনা করিব। তৎপূর্বে সরল সমঞ্জস গতি কাহাকে বলে জানা দরকার।

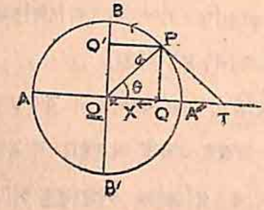
**Periodic Motion ( পর্যাবৃত্ত গতি ) :** যদি কোন কম্পমান বস্তুকণা কোন বলের ক্রিয়ায় একই নির্দিষ্ট সময় (period) অন্তর একই অবস্থানের মধ্য দিয়া একই বেগে একই দিকে চলে তবে বস্তুকণার গতিকে **পর্যাবৃত্ত গতি** বলে। আবার একটি বস্তুকণা যদি সমগতিতে বৃত্তাকার পথে চলে ইহাকে **চক্রায়িত পর্যাবৃত্ত** (Circular periodic) **গতি** বলে। ঘড়ির কাঁটার গতি, সূর্যের চারিদিকে পৃথিবীর গতি—পর্যাবৃত্ত গতি, কারণ ইহারা নির্দিষ্ট সময়ে নির্দিষ্ট পথ অতিক্রম করে।

ঘড়ির দোলক সরলরেখাক্রমে স্থির অবস্থানের (position of rest, dead position) দুই দিকে বারবার একই পথ অতিক্রম করে। ইহাকে **রৈখিক পর্যাবৃত্ত** বা **স্পন্দন** গতি বলে। এই গতিতে বস্তুকণা পর্যায় কালের অর্ধসময় একটি নির্দিষ্ট দিকে এবং বাকী অর্ধসময়ে বিপরীত দিকে চলে।

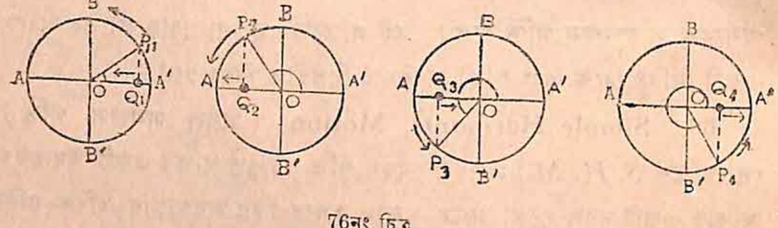
**69. Simple Harmonic Motion ( সরল সমঞ্জস গতি ) :** (সাঙ্কেতিক *S. H. M.*) : সরল সমঞ্জস গতি পর্যাবৃত্ত গতির একটি উদাহরণ। আবার একটি সরল রেখা ক্রমে কোন কণার স্থির অবস্থানের এদিক-ওদিক (to and fro) সমান দূরত্বে গতি সরল সমঞ্জস গতির সরলতম উদাহরণ।

মনে কর 75নং চিত্রে কোন বলের ক্রিয়ায় P কণা $v$ সমগতিতে A B A′ B′ বৃত্ত বরাবর চলিতেছে। মনে কর P হইতে AA′ ব্যাসের উপর P Q লম্ব টানা হইয়াছে। Q হইল লম্বের পাদবিন্দু। যেমন P কণা বৃত্ত বরাবর তীর অভিমুখে ঘুরিতে থাকে, লম্বের Q পাদবিন্দু A′ হইতে A অভিমুখে যায়। P কণা যখন Bতে পৌছায় তখন Q বিন্দু Oতে আসে। P যখন B হইতে A অভিমুখে যায় তখন Q বিন্দু O হইতে A অভিমুখে যায়। P কণা Aতে পৌছাইলে Q বিন্দুও Aতে পৌছায়। P কণা A হইতে B′ অভিমুখে যাত্রা করিলে Q বিন্দুর গতির অভিমুখ বদলাইয়া যায়। P কণা A হইতে যেমন

A′ অভিমুখে যায় তেমন Q বিন্দু A হইতে A′ অভিমুখে যায়। এইরূপে আমরা দেখিব যে P কণা যেমন বৃত্তের পরিধি বরাবর সম কৌণিক গতিতে ঘুরিতে থাকে, Q বিন্দু AA′ রেখা বরাবর এদিক-ওদিক ঘুরিতে থাকে। AA′ রেখা বরাবর Q বিন্দুর গতিকে **সরল সমঞ্জস গতি** বলে। O হইল Q বিন্দুর সাম্য বা স্থিতি অবস্থা। Q বিন্দুর উপর বলের অভিমুখ সর্বদা নির্দিষ্ট O বিন্দুর দিকে থাকে। O বিন্দু হইতে যতই দূরত্ব বাড়ে ততই বলও বাড়ে অর্থাৎ O বিন্দু হইতে Q বিন্দুর A ও A′র দিকে বল বাড়িয়া যায়। P কণার বেগ সমান হয় কিন্তু Q বিন্দুর AA′ বরাবর বেগ সমান হয় না। A বা A′ বিন্দু হইতে O অভিমুখে যাইলে Qর বেগ বাড়িতে থাকে। আবার O বিন্দু হইতে




75নং চিত্র

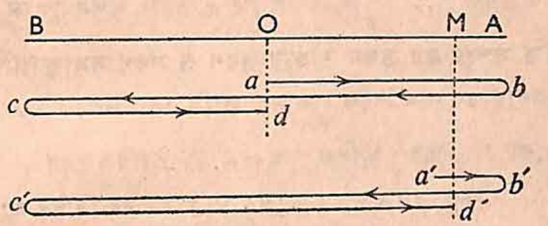



76নং চিত্র

A বা A′ দিকে যাইলে বেগ কমিতে থাকে, A ও A′ বিন্দুতে Q বিন্দুর বেগ থাকে না। AA′BB′ বৃত্তকে circle of reference ও P কণাকে generating point বলে। 76নং চিত্রে $P_1, P_2, P_3, P_4$ কণার পর পর অবস্থান এবং $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ আনুষঙ্গিক পাদবিন্দুর অবস্থান।

**70. সরল সমঞ্জস গতির সমীকরণ :** (ক) **পর্যায়কাল (Period) :** যে সময়ে P কণা A′ হইতে আরম্ভ করিয়া বৃত্ত বরাবর একবার সম্পূর্ণ ঘুরিয়া পুনরায় A′তে পৌছায় ঠিক সেই সময়ে Q বিন্দু A′ হইতে Aতে যায় এবং A হইতে পুনরায় A′তে আসে। এই আবর্তনকে **পূর্ণ আবর্তন** বা **স্পন্দন** বা **কম্পনাঙ্ক** ( oscillation ) বলে। একটি পূর্ণ আবর্তনের সময়কে

**পর্যায়কাল** বলে। ইহা T অক্ষর দিয়া প্রকাশ করা হয়। P ও Qর পর্যায়কাল সমান।




77নং চিত্র—কণা O হইতে আরম্ভ করিয়া $a\ b\ c\ d$ পথে কিংবা M হইতে আরম্ভ করিয়া $a'\ b'\ c'\ d'$ পথে একটি স্পন্দন সম্পূর্ণ করে।

T সময়ে P পরিধি বরাবর $2\pi a$ দূরত্ব যায় $\therefore\ 2\pi a = v\mathrm{T} \cdots (a)$

(খ) **কম্পনাঙ্ক বা স্পন্দন সংখ্যা** (**Frequency**)ঃ এক সেকেণ্ডে পূর্ণ আবর্তনের সংখ্যাকে **স্পন্দন** সংখ্যা বলে। P ও Qর স্পন্দন সংখ্যা সমান। মনে কর ইহা $n$;

$$\therefore\ n\mathrm{T} = 1 \quad \therefore\ n = \frac{1}{\mathrm{T}} \qquad \cdots (b)$$

যদি $\omega$ = Pএর কৌণিক বেগ হয় তবে $\omega = \frac{2\pi}{\mathrm{T}}$ or $\mathrm{T} = \frac{2\pi}{\omega}\ \omega = 2\pi n.$

$$\therefore\ v = \frac{2\pi}{\mathrm{T}}.a = \omega a \qquad \cdots (c)$$

(গ) ত্বরণ ঃ P হইতে AA′-এর উপর লম্বের পাদবিন্দু হইল Q. $\therefore$ Qএর ত্বরণ ও বেগ Pএর ত্বরণ ও বেগের AA′ রেখার সমান্তরালে PQ′ রেখা বরাবর বিশ্লিষ্ট অংশের সমান ( 75নং চিত্র )।

প্রথম খণ্ড ৩৫পৃঃ ৩৫ অনুচ্ছেদে আমরা দেখিয়াছি যে বৃত্তপথে সমদ্রুতিতে ঘোরার সময় P বিন্দুর ত্বরণ $= \frac{v^2}{a}$ [ $a$ = OP = ব্যাসার্ধ, $v$ = Pএর সমদ্রুতি (speed) ]। এই ত্বরণ O কেন্দ্রের অভিমুখী হয়। আমরা জানি $v = a \times \omega$.

$\therefore$ Pএর ত্বরণ $= a\omega^2$. সুতরাং Qএর O অভিমুখী ত্বরণ $f = a\omega^2$. ত্বরণের PQ' বরাবর উপাদান $= a\omega^2 \cos\theta = \omega^2$OQ। এখানে OQ $=$ সরণ $= x$.
আবার $\omega^2 =$ ধ্রুবক $\therefore$ $\frac{f}{x} = \omega^2$ বা $f \propto x$ অর্থাৎ **যখন কোন বিন্দু সরল সমঞ্জস গতি সম্পন্ন হয় তখন তাহার ত্বরণ ও সরণ সমানুপাতিক হয়।**

কোন কণার ভর $m =$ ধ্রুবক। আমরা জানি বল $= m \times f$ $\therefore$ বল $\propto$ সরণ।

(ঘ) বেগ: Pএর কৌণিক বেগ $= \omega$ $\therefore$ রৈখিক বেগ $= v = a\omega$.

$\therefore$ Qএর বেগ $=$ Pএর বেগের PQ' বরাবর বিশ্লিষ্ট অংশ

$\therefore$ Qএর বেগ $V = a\omega \cos \text{PTO} = a\omega \sin\theta = \omega.\text{PQ}$

$$= \omega\sqrt{a^2 - x^2} \quad (\because \text{PQ}^2 = a^2 - x^2)$$

A' বিন্দুতে $\theta = 0^\circ$ $\therefore$ A' বিন্দুতে $V = 0$

A বিন্দুতে $\theta = 180^\circ$ $\therefore$ A বিন্দুতে $V = 0$

B ও B' বিন্দুতে $\theta = 90^\circ$ ও $270^\circ$ $\therefore$ O বিন্দুতে Vএর মান সর্বোচ্চ হয়। অর্থাৎ Qএর দোলনের শেষ বিন্দু A ও A'তে Q বেগ-শূন্য হয়। মধ্যক বিন্দু Oতে V গরিষ্ঠ হয়।

(ঙ) **পর্যায়কাল T:** একটি সম্পূর্ণ দোলনের সময়কে পর্যায়কাল বলে। A হইতে P বিন্দুতে গমনের সময় $= \frac{\theta}{\omega} = \frac{1}{\omega}\cos^{-1}\left(\frac{x}{a}\right)$

সুতরাং A' হইতে A গমনের সময় $= \frac{1}{\omega}\cos^{-1}(-1) = \frac{\pi}{\omega}$

$\therefore$ A' হইতে A এবং A হইতে A'তে আসার সময় $= T = \frac{2\pi}{\omega}$

কিন্তু $\frac{f}{x} = \omega^2$ $\therefore$ $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{x}{f}} = 2\pi\sqrt{\frac{\text{Q-এর সরণ}}{\text{Q-এর ত্বরণ}}}$।

সুতরাং **পর্যায়কাল বিস্তার নিরপেক্ষ হয়।**

(চ) **বিস্তার:** মধ্যক অবস্থান হইতে দুই পাশে সর্বোচ্চ দূরত্বকে বিস্তার বলে।

Qএর বিস্তার $=$ OA বা OA' $= a$.

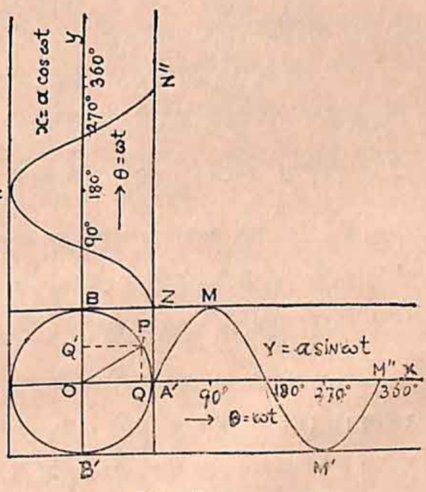
(ছ) Qএর গতি সম্বন্ধীয় সারণী (table) :—

| Q বিন্দুর অবস্থান | সরণ | বেগ | ত্বরণ |
|---|---|---|---|
| O বিন্দুতে | O ( লঘিষ্ঠ) | $\omega a$ (গরিষ্ঠ) | $f=0$ |
| A, A′ বিন্দুতে | $x=a$ কিম্বা $-a$ | O (লঘিষ্ঠ) | $f=\omega^2 a$ (গরিষ্ঠ) |
| Q বিন্দুতে | $x=a\cos\theta$ | $\omega a\sin\theta$ | $f=\omega^2 a\cos\theta$ |

(জ) **সরণ ও সময়ের ছক** (Time and Displacement Curve)

78নং চিত্রের দুই লেখ দ্বারা Q বিন্দুর সরণ বর্ণিত হইল :—

(i) $x=a\cos\omega t$, (ii) $y=a\sin\omega t$। মনে কর A′ হইতে P বিন্দু যাইতে কণার সময় $t$ সেকেণ্ড লাগে।




78নং চিত্র

Q-এর সরণ $x=a\cos\omega t$

$=a\cos\dfrac{2\pi t}{T}=a\cos 2\pi.nt.$

যখন $\theta=O$ হয়, তখন বিস্তার $a$ ও সরণ $x$ সমান হয়। $\angle\theta$ কোণ যত বাড়িতে থাকে সরণ তত কমিতে থাকে।

যখন $\theta=\pi/_2$ হয় তখন সরণ$=$O হয়। এইরূপে $\theta=\pi$, সরণ$=-a$ ;

$\theta=\dfrac{3\pi}{2}$, সরণ$=$O ; $\theta=2\pi$, সরণ$=a$.

এইরূপে সরণ আবার অপর axisএ আঁকা চলে।

I নং ছক Qএর সরণ অর্থাৎ O হইতে Qএর বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন দূরত্ব প্রকাশ করে।

II নং ছক বিভিন্ন সময়ে P বিন্দুর বৃত্তের পরিধির উপর বিভিন্ন অবস্থান হইতে অঙ্কিত লম্বের বিভিন্ন দৈর্ঘ্য অর্থাৎ PQর বিভিন্ন দৈর্ঘ্য প্রকাশ করে।

(ঝ) দশা (Phase)ঃ দশা কম্পমান বস্তুর যে কোন মুহূর্তে একটি প্রমাণ অবস্থান (standard state) হইতে সরণ ও বেগ নির্ণয় করে। সাধারণতঃ কম্পমান বস্তুর মধ্যক বিন্দুতে অবস্থানকে প্রমাণ অবস্থান ধরা হয়। একটি কম্পমান বস্তুর পর্যায়কালের ভিন্ন ভিন্ন সময়ে বেগ ও অবস্থান ভিন্ন ভিন্ন হইয়া থাকে। এক পর্যায়কাল বাদে কম্পমান বস্তুর বেগ ও অবস্থান পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসে। যখন দুইটি কণিকা ঠিক একই ভাবে দোলে অর্থাৎ মধ্যক অবস্থা হইতে সমদূরত্বে ও একই অভিমুখে থাকে তখন তাহাদের এক দশা হয়। দশা দুই প্রকারে প্রকাশ করা হয়। যথা—

(ক) পর্যায়কালের ভগ্নাংশ দ্বারাঃ মধ্যক বিন্দু O হইতে নির্দিষ্ট অভিমুখে পর্যায়কাল গণনা করিলে O হইতে OA′ অভিমুখে A′ বিন্দুতে Q বিন্দুর দশা হইবে $\frac{T}{4}$ এবং A বিন্দুতে দশা হইবে $\frac{3}{4}T$.

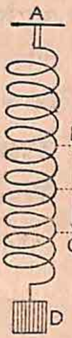
(খ) P কণা দ্বারা অঙ্কিত কোণ দ্বারাঃ অতএব কম্পমান Q বিন্দুর দশা P কণার দ্বারা অঙ্কিত কোণ $\theta$ দ্বারা প্রকাশিত হয়। কণিকার গতি পথে যাত্রার মুহূর্তের দশাকে ইপক (Epoch) বলে।

**71. সরল সমঞ্জস গতির বিশেষত্ব।** (ক) কণিকার গতি পর্যাবৃত্ত হইবে। (খ) কণিকার গতি সরল রেখা ক্রমে এদিক-ওদিক (to and fro) হইবে। (গ) কণিকার সরণ একটি নির্দিষ্ট মধ্যক অবস্থিতি (mean position) Oর অভিমুখে হইবে। (ঘ) বলের তথা ত্বরণের পরিমাণ মধ্যক অবস্থিতি হইতে কণিকার সরণের সমানুপাতিক হইবে।

**72. সরল সমঞ্জস গতির উদাহরণঃ** Tuning fork এর দুই বাহুর এদিক-ওদিক গতি, দোলকের গতি সরল সমঞ্জস গতির উদাহরণ।

দোলকের পিণ্ড যে বৃত্তাকার পথে চলে ইহা এত ক্ষুদ্র যে ইহাকে সরল রেখা বলা চলে। অর্থাৎ বিস্তার কম হইলে দোলকের গতি সরল সমঞ্জস গতি। দোলকের গতি যে সরল সমঞ্জস গতি তাহা প্রথম খণ্ডে ৮৪ পৃষ্ঠায় ৯৮ অনুচ্ছেদে প্রমাণ করা হইয়াছে।

চিত্রে একটি নরম স্প্রীংকে A হইতে নীচে D ওজন চাপাইয়া ঝোলানো হইয়াছে। স্প্রিংএর O বিন্দু লাল সূতা বাঁধিয়া চিহ্নিত কর। D ওজনকে নীচের দিকে টানিয়া ছাড়িয়া দাও। স্প্রীংয়ের স্থিতিস্থাপকতার জন্য চিহ্নিত বিন্দু উপরে B ও নীচে C বিন্দু পর্যন্ত উঠানামা করে। O বিন্দুর গতি সরল সমঞ্জস গতি।



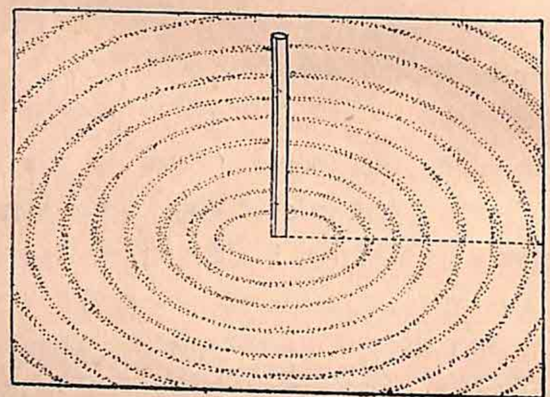
79নং চিত্র - O বিন্দুর গতি সরল সমঞ্জস গতি।

**73. Vibration and Wave (কম্পন ও তরঙ্গ):** কোন স্থিতিস্থাপক নিরবচ্ছিন্ন মাধ্যমের কোন কণিকাকে স্থির অবস্থান হইতে একটু স্থানচ্যুত করিয়া ছাড়িয়া দিলে ইহা স্থিতিস্থাপকতা ও জাড্য গুণের সম্মিলিত প্রভাবে পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসিবার প্রচেষ্টায় কম্পমান হয়। এই কণিকা অন্য সকল কণিকার সঙ্গে আকর্ষণ-বলের (cohesion) দ্বারা আবদ্ধ থাকে। কাজেই এই স্থানভ্রষ্ট কণিকাটি পার্শ্ববর্তী কণিকাগুলিকেও স্থানভ্রষ্ট করে। এইরূপে মাধ্যমের যে-কোন স্থানের আলোড়ন (disturbance) অন্যত্র প্রসারলাভ করে। একটি কণিকা গতিসম্পন্ন হইলে পার্শ্ববর্তী কণিকাগুলিও ঠিক সেইরূপ গতিসম্পন্ন হয়। এক কণিকা হইতে অপর কণিকায় গতি স্থানান্তরের এই কৌশলকে Wave Motion (তরঙ্গগতি) বলে। ইহাতে কণিকাগুলি স্থানান্তরিত হয় না। ইহারা মধ্যক (mean) অবস্থানের দুই দিকে সমানভাবে একটু আলোড়িত হয় এবং ইহারা সরল সমঞ্জস গতিযুক্ত হয়। ইহা কতকটা পরিবহন পদ্ধতিতে তাপ সঞ্চালনের মত। বস্তুকণা স্থানান্তরিত না হইয়াও শক্তি এক স্থান হইতে অন্য স্থানে যায়।

তরঙ্গগতির আবিষ্কার বৈজ্ঞানিক জগতে এক যুগান্তর আনয়ন করিয়াছে। এই তরঙ্গগতি দ্বারা শক্তি এক স্থান হইতে অন্য স্থানে বিস্তার লাভ করে। সূর্য হইতে যে আলোক-শক্তি ও তাপ-শক্তি আমরা পাই তাহা তরঙ্গের আকারে পৃথিবীতে পৌছায়। শব্দ-শক্তি তরঙ্গের আকারে মাধ্যমের মধ্য দিয়া চলে। তড়িৎ-শক্তিও তরঙ্গের আকারে চলে।

74. **তরঙ্গের প্রকারভেদ :** তরঙ্গগতি দুই প্রকারের, যথা :—

(ক) **Transverse vibration and wave ( তির্যক কম্পন ও তরঙ্গ ) :** যখন সরল সমঞ্জস গতিসম্পন্ন কোন কণিকা তরঙ্গগতির অভিমুখের

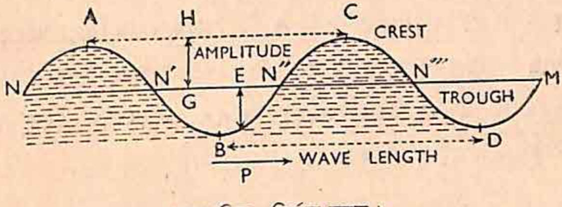


80নং চিত্র—জলে তরঙ্গ-গতি।

সহিত **সমকোণে** দুই পার্শ্বে **সমান দূরত্বে** কম্পিত হয় তখন কণিকার কম্পনকে **তির্যক কম্পন** বলে। এই প্রকারে উদ্ভূত তরঙ্গকে **তির্যক তরঙ্গ** বলে। স্থির জলে ঢিল ফেলিলে যে ক্রমবর্ধমান তরঙ্গের উৎপত্তি হয় সেই তরঙ্গ তির্যক তরঙ্গের উৎকৃষ্ট উদাহরণ। পুকুরের জলে যখন বাতাসে ঢেউ উঠে না তখন এই জলে কয়েক টুকরা কাগজ বা শোলা এমনভাবে ভাসাইয়া দাও উহারা যাহাতে কিনারা হইতে নির্দিষ্ট দূরত্বে থাকে। স্থির জলে প্রথমে উহারাও স্থির থাকে। এইবার পুকুরের ধারে বসিয়া জলে একটি কাঠের মোটা দণ্ড লম্বভাবে ক্রমান্বয়ে উঠাইলে ও নামাইলে জলে ঢেউ উঠে (80নং চিত্র)। এই

ঢেউগুলির নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য থাকে :—(ক) ঢেউগুলি কাগজের টুকরা স্পর্শ করিলেই উহারা কিনারা হইতে নির্দিষ্ট দূরে থাকিয়া একবার উপরে উঠে ও একবার নীচে নামে। (খ) উহারা ঢেউ-এর সঙ্গে ভাসিয়া যায় না কিন্তু ঢেউগুলি অপর পারে পর পর পৌছায়। (গ) কাগজের টুকরাগুলি জলপৃষ্ঠের সহিত **সমকোণে সমদূরত্বে** উঠা-নামা করে। (ঘ) কাগজের টুকরাগুলি একসঙ্গে উঠা-নামা করে না। (ঙ) ঢেউগুলি আকারে (form) অপরিবর্তিত থাকিয়া জলের উপর দিয়া বৃত্তাকারে চলিয়া যায়। কাগজের টুকরার ন্যায় জলকণাগুলিও একস্থানে থাকিয়া সাম্য অবস্থিতি হইতে উঠা-নামা করে।

মনে কর, ABCD এইরূপ একটি জলতরঙ্গ (81নং চিত্র)। স্থির অবস্থায় NM সরলরেখা জল-পৃষ্ঠের ছেদ। তরঙ্গগুলি NM রেখা বরাবর চলিবে। জলকণা NM রেখার সমকোণে দোল খাইবে। N হইতে N′ পর্যন্ত জল উপর দিকে ঠেলিয়া উঠিবে এবং N′ হইতে N′′ জল নীচের দিকে নামিয়া যাইবে।




81নং চিত্র—তির্যক তরঙ্গ।

জলের উত্থিত অংশকে **তরঙ্গ শীর্ষ** (crest) ও জলের অবনমিত অংশকে **তরঙ্গপাদ** (trough) বলে। তরঙ্গ শীর্ষ বুঝাইতে NAN′ অথবা N′′CN′′′ অংশ দূরত্ব বোঝায়। তরঙ্গপাদ বুঝাইতে N′BN′′ অথবা N′′′DM অংশ দূরত্ব বোঝায়। তরঙ্গশীর্ষের ও তরঙ্গপাদের দূরত্ব সমান হয়। যে স্থানে তরঙ্গ-শীর্ষ হয় পর মুহূর্তে সেই স্থানে তরঙ্গপাদ হয়। **একটি তরঙ্গশীর্ষ ও একটি তরঙ্গপাদ লইয়া একটি সম্পূর্ণ তরঙ্গ গঠিত হয়।** এইরূপ জল-তরঙ্গ এক প্রকার **চলতরঙ্গ** (progressive wave)। যে সময়ে তরঙ্গশীর্ষ A বিন্দু হইতে শীর্ষ C বিন্দুতে কিংবা পাদ B বিন্দু হইতে পাদ D বিন্দুতে যায় সেই সময় কাগজের টুকরা একবার উপরে উঠে ও একবার নীচে নামে। ধানের ক্ষেতের

উপর দিয়া যখন ঢেউ খেলিয়া যায় তখন কেবল ঢেউ চলিয়া যায়, ধানের শীষগুলি চলিয়া যায় না।

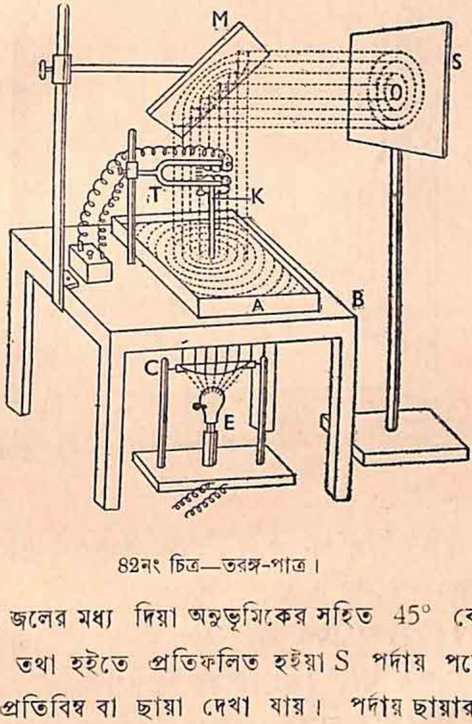
কম্পমান কণিকার একটি সম্পূর্ণ দোলনকালে তরঙ্গ যে দূরত্বে যায় তাহাকে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বলে। অর্থাৎ তির্যক তরঙ্গের পরপর দুইটি সমদশা সম্পন্ন কণার দূরত্বকে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বলে। তির্যক তরঙ্গের বেলায় দুই তরঙ্গশীর্ষ A ও Cর মধ্যের বা দুই তরঙ্গ পাদ B ও Dএর মধ্যের দূরত্বকে **তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য** বলে। ইহাকে $\lambda$ চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়। একটি কণিকার একবার উপরে উঠিতে ও নীচে নামিতে যে সময় লাগে তাহাকে তরঙ্গের **পর্যায়কাল** (T) বলে। সুতরাং যদি কোন কণিকা এক সেকেণ্ডে $n$ বার কম্পিত হয় তবে সেই কণিকা এক সেকেণ্ডে $n$ সংখ্যক ঢেউ তুলিবে। সুতরাং তরঙ্গের বেগ $V = n \times \lambda$ প্রতি সেকেণ্ডে $\therefore\ V = \frac{\lambda}{T}$। একই তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের ব্যবধানে অবস্থিত কণিকাগুলি একই দশাপ্রাপ্ত হয় অর্থাৎ উহারা সমতালে কাঁপিয়া উঠে, যথা A ও C বিন্দুদ্বয়ের বা B ও D বিন্দুদ্বয়ের গতির অবস্থা। ইহারা সমদশা সম্পন্ন। A বিন্দু যখন উপরে উঠে C বিন্দুও তখন উপরে উঠে। আবার A ও B বিন্দুদ্বয় বিপরীতদশা বিশিষ্ট অর্থাৎ A বিন্দু যখন উপরে উঠে B বিন্দু তখন নীচে নামে।

যে সকল মাধ্যমের অণুগুলির মধ্যে সংসক্তি বা আকর্ষণ আছে ( যথা, কঠিন ও তরল মাধ্যমে ) সেই মাধ্যমে এই তরঙ্গ উত্থিত হয়। গ্যাসের অণুগুলির আকর্ষণ নাই বলিলেই চলে। সুতরাং এই মাধ্যমে তির্যক তরঙ্গ উত্থিত হয় না।

**অন্যান্য দৃষ্টান্ত** : (1) কোন অবলম্বন হইতে একগাছি সরু দড়ি ঝুলাইয়া দাও। দড়ির দৈর্ঘ্য বরাবর অবলম্বনকে যদি পর্যাবৃত্ত গতি দেওয়া যায় তবে দড়ির-দৈর্ঘ্য বরাবর গা বাহিয়া তির্যক তরঙ্গ দেখা যাইবে কিন্তু দড়ির প্রত্যেক কণা তরঙ্গ-গতির সহিত সমকোণে আন্দোলিত হয়।

(2) **তরঙ্গ পাত্র ( Ripple Tank ) পরীক্ষা** : পরীক্ষাগারে একটি জলপূর্ণ পাত্রে তির্যক তরঙ্গ উত্থিত করিয়া তরঙ্গের ধর্ম পরীক্ষা করা যায়।

B টেবিলের বড় ছিদ্রের মধ্যে একটি জলপূর্ণ অগভীর চতুষ্কোণ কাচের পাত্র A বসানো আছে। একটি T স্বর-শলাকার একটি বাহু-সংলগ্ন ছোট K দণ্ড A পাত্রের জলের মধ্যে আংশিক ডুবানো আছে। স্বর-শলাকাকে স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থায় তড়িৎ দ্বারা কম্পিত করিলে জলে তরঙ্গ উত্থিত হয়। টেবিলের নীচে E তড়িৎ বালবের আলোকরশ্মি C উত্তল লেন্সের মধ্য দিয়া আসিয়া

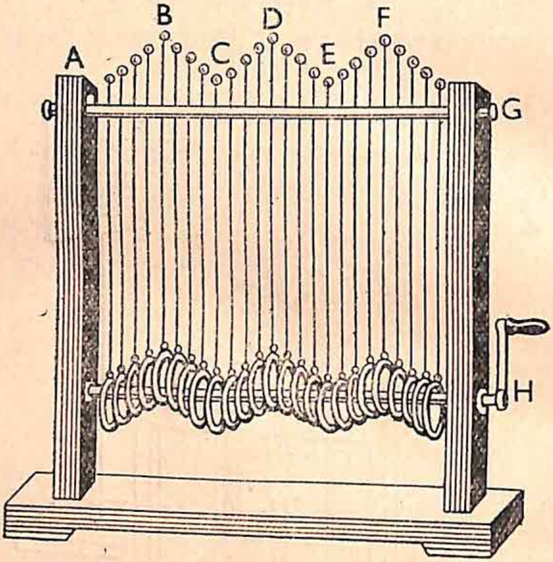



82নং চিত্র—তরঙ্গ-পাত্র।

সমান্তরাল হইতে জলের মধ্য দিয়া অনুভূমিকের সহিত 45° কোণে রক্ষিত M দর্পণে পড়ে তথা হইতে প্রতিফলিত হইয়া S পর্দায় পড়ে। এইরূপ পর্দায় তরঙ্গের প্রতিবিম্ব বা ছায়া দেখা যায়। পর্দায় ছায়ার গতি লক্ষ্য করিয়া জলে তরঙ্গের গতি বোঝা যায়।

(3) পরীক্ষা (D): 83 চিত্রে তির্যক তরঙ্গ দেখাইবার একটি সুন্দর ব্যবস্থা দেওয়া হইল। কতকগুলি সরল ও সমান্তরাল ABCD……প্রভৃতি দণ্ডের প্রত্যেকের মাথায় একটি বল আছে। এই প্রত্যেক দণ্ডের নিম্নাংশ একটি সমকেন্দ্রিক চাকার উপর স্থাপিত। প্রত্যেক দণ্ড উপরদিকে একটি অনুভূমিক

G লোহার পাতের ছিদ্রের মধ্য দিয়া অতিক্রম করে। সুতরাং প্রত্যেক দণ্ড একটুও ডান বা বাম পাশে সরে না। সমস্ত চাকাগুলির ঘূর্ণন-অক্ষ এক। সমস্ত চাকাগুলিকে একটি হাতল H দ্বারা ঘোরানো হয়। হাতল অনবরত




৪৪নং চিত্র

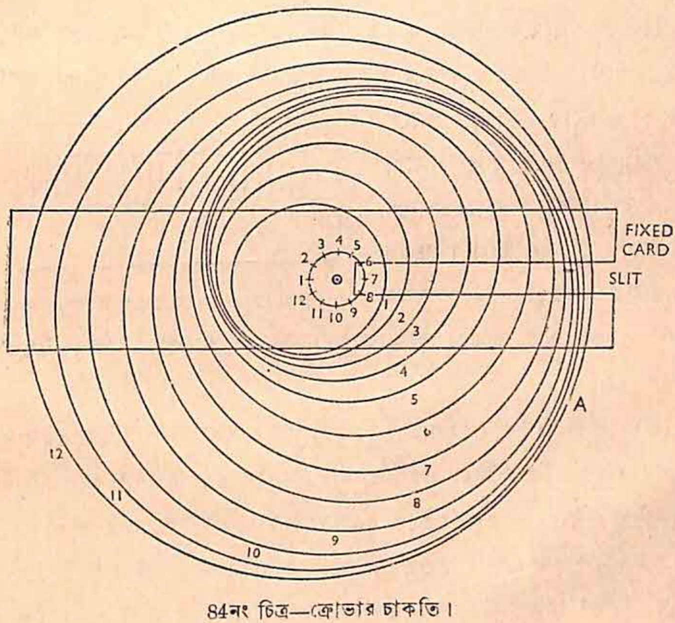
ঘোরাইলে বলগুলির গতি একটি তির্যক তরঙ্গের আকারে দেখা যায়। B, D, F··· তরঙ্গশীর্ষ এবং A, C, E··· তরঙ্গপাদ।

সর্বপ্রকার তির্যক তরঙ্গের একটি বিশেষত্ব এই যে, মাধ্যমের প্রত্যেক কণা পর্যাবৃত্ত গতিসম্পন্ন হয় কিন্তু তরঙ্গের আকার সরলরেখা ক্রমে সমগতিতে চলিয়া যায়। অতএব মাধ্যমের এক অংশ হইতে অপর অংশে নিরবচ্ছিন্ন গতি পৌছায়। আবার প্রত্যেক গতির সঙ্গে গতীয় (kinetic) শক্তি থাকে, সুতরাং তরঙ্গ গতীয় শক্তি বহন করে। আমরা এইরূপে আলো ও তাপ-শক্তি পাই।

এক দণ্ডের বলের গতির সহিত অপর দণ্ডগুলির গতির দশার পার্থক্য থাকায় এইরূপ তরঙ্গ দেখা যায়।

(খ) Longitudinal vibration and wave ( অণুদৈর্ঘ্য কম্পন ও তরঙ্গ ) : যখন মাধ্যমের সরল সমঞ্জস গতি সম্পন্ন কণিকাগুলি তরঙ্গের গতির সহিত **সমান্তরালে** এদিক-ওদিক কম্পিত হয় তখন এই কম্পনকে **অণুদৈর্ঘ্য কম্পন** বলে এবং এইরূপ কম্পন হইতে উদ্ভূত তরঙ্গকে **অণুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ** বলে। নিম্নলিখিত পরীক্ষা হইতে অণুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বুঝা যায় :

(1) ক্রোভার চাকতি ( Crova's Disc ) : একটি পিচবোর্ডের চাকতি A লও। ঐ পিচবোর্ডের মধ্যে O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া ও 2 সেঃ মিঃ ব্যাস লইয়া একটি বৃত্ত টান। ঐ বৃত্তটির পরিধি বরাবর সমদূরত্বে বারটি বিন্দু লও, যেমন 1. 2. 3. 4···ইত্যাদি। 1কে কেন্দ্র করিয়া একটি ছোট বৃত্ত টান।

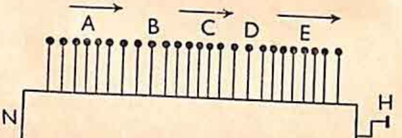



84নং চিত্র—ক্রোভার চাকতি।

এইরূপে 2.3···ইত্যাদিকে কেন্দ্র করিয়া আরও 11টি বৃত্ত টান এবং প্রত্যেক বৃত্তের ব্যাসার্ধ $\frac{1}{2}$ সেঃমিঃ করিয়া বাড়াইয়া যাও। বৃত্তগুলিকে 1.2.3.···ইত্যাদি চিহ্ন কর। চাক্তিকে একটি ঘূর্ণায়মান টেবিলের উপর রাখ যাহাতে ক্ষুদ্রতম বৃত্তের O কেন্দ্রের মধ্য দিয়া প্রবিষ্ট একটি দণ্ডের চারিধারে চাকতিটি ঘুরিতে

পারে। একটি দীর্ঘ আয়তক্ষেত্রিক ছিদ্র (slit)-বিশিষ্ট কার্ডবোর্ড চাকতিটির উপরে রাখ যাহাতে ছিদ্রের মধ্য দিয়া বৃত্তগুলির খুব অল্প অংশ দেখা যায়। এখন চাকতিকে জোরে ঘুরাইলে দেখা যাইবে একবার বৃত্তগুলি পরস্পর গায়ে গায়ে লাগিয়া যাইতেছে এবং পর মুহূর্তেই দূরে দূরে চলিয়া যাইতেছে। ইহাতে মনে হয় যেন একটি অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ আগাইয়া যাইতেছে। বৃত্তগুলি যখন খুব কাছাকাছি হয় তখন যে তরঙ্গ দেখা যায় তাহাকে Compression (**সংনমন** বা **সংকোচন** বা **ঘনীভবন**) তরঙ্গ বলে। আর যখন বৃত্তগুলি দূরে দূরে যায় তখন যে তরঙ্গ দেখা যায় তাহাকে **Rarefaction** (**তনুভবন**) **তরঙ্গ** বলে।

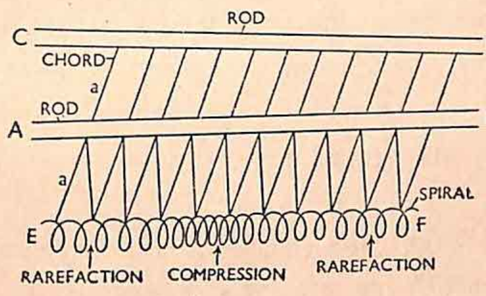
(2) N বাক্সের উপর কতকগুলি লম্ব দণ্ড সমান্তরালভাবে সাজানো আছে। প্রত্যেক দণ্ডের মাথায় একটি করিয়া বল আছে। H হাতল ঘুরাইলে দণ্ডগুলি একবার কাছে আসে এবং পরমুহূর্তে দূরে দূরে চলিয়া যায়। যখন ইহারা কাছে আসে (যেমন A, C ও Eতে) তখন সঙ্কোচনের অবস্থা হয়; যখন দণ্ডগুলি দূরে দূরে সরিয়া যায় (যেমন B ও Dতে) তখন তণুভবনের অবস্থা হয়।



85নং চিত্র—সংকোচন ও তনুভবন তরঙ্গ।

(3) **কুণ্ডলী স্প্রিং** (Spiral Spring) **:** শব্দতরঙ্গ প্রবাহিত হইবার সময় পর পর বায়ুস্তর কি করিয়া একবার কাছে আসে এবং একবার দূরে সরিয়া যায় তাহা নিম্নলিখিত উদাহরণ হইতে বুঝা সহজ। একটি পিতলের তারকে 3 ইঞ্চি ব্যাসের কতকগুলি সংলগ্ন কুণ্ডলীতে পরিণত কর। কুণ্ডলীটি প্রায় 6-7 ফুট লম্বা হইবে (86নং চিত্র)। এখন দুইটি সমান্তরাল দণ্ড AB ও CD হইতে *a* সূতা দ্বারা বাঁধিয়া কুণ্ডলী EFকে অনুভূমিক ভাবে ঝুলাইয়া রাখ। এখন E দিকে যদি কুণ্ডলীকে হঠাৎ অনুভূমিক ভাবে ভিতর দিকে ধাক্কা দেওয়া যায় (pushed) তবে E দিকের নিকটতম কুণ্ডলীর পাকগুলি (turns) **সংনমিত** বা ঘনীভূত (compressed) হয়। এই **সংনমন** তরঙ্গ নির্দিষ্ট বেগে

কুণ্ডলীর দৈর্ঘ্য বরাবর গমন করিয়া F প্রান্তে পৌছায় এবং কুণ্ডলীর প্রত্যেক পাক সামান্য একটু F প্রান্তের দিকে আগাইয়া যায়। বায়ুকণাকে ধাক্কা দিলে এইরূপ সংনমন তরঙ্গ বায়ু-মাধ্যম দিয়া অতিক্রম করে। সুতরাং প্রত্যেক বায়ুস্তর কুণ্ডলীর এক-একটি পাকের সঙ্গে তুলনা করা যাইতে পারে। যদি E প্রান্তের কুণ্ডলীকে হঠাৎ বাহিরের দিকে টানা যায় (pulled) পাকগুলি পরস্পর হইতে তফাৎ হইয়া যাইবে। এইরূপ তফাৎ হওয়াকে **তনুভবন** বলে। এই তনুভবন তরঙ্গকে কুণ্ডলীর দৈর্ঘ্য বরাবর অপর মুখে যাইতে দেখা যায়। প্রত্যেক পাক E প্রান্তের দিকে একটু পিছাইয়া আসে। বায়ুতে এই রকম




86নং চিত্র—কুণ্ডলী স্প্রিং।

তনুভবন তরঙ্গ অতিক্রম করে। এইরূপে যদি কুণ্ডলীর যে-কোন প্রান্তকে পর্যায়ক্রমে একবার বাহিরে টানা যায় ও ভিতরে ধাক্কা দেওয়া যায় তবে এইরূপ অণুদৈর্ঘ্য **সংনমন** ও **তনুভবন** তরঙ্গ নির্দিষ্ট বেগে অপর প্রান্তে পৌছায়। লক্ষ্য রাখিবে যে, কুণ্ডলীর প্রত্যেক পাক স্থির মধ্যক অবস্থানের দুইধারে সমান দূরত্ব পর্যন্ত আলোড়িত হয় কিন্তু কোন পাকই স্বাভাবিক অবস্থা হইতে স্থানান্তরিত হয় না। এখানে **একটি সম্পূর্ণ তরঙ্গ=একটি সংনমন তরঙ্গ+একটি তনুভবন তরঙ্গ।** অণুদৈর্ঘ্য তরঙ্গে পর পর একটি ঘনীভবন ও একটি তনুভবন কম্পনের মোট দূরত্বকে **তরঙ্গদৈর্ঘ্য** বলে। মনে রাখিবে যে দুই প্রকার তরঙ্গে প্রত্যেক কণা একই পর্যায়কালে স্পন্দিত হইয়া থাকে। স্পন্দন-কাল সকল কণার পক্ষে সমান। তরঙ্গের স্পন্দন-কাল, কম্পনাঙ্ক,

বিস্তার এবং মাধ্যমের কণার ঐ রাশিগুলি একই অর্থবোধক। জলতরঙ্গের তরঙ্গপাদ ও তরঙ্গশীর্ষ যথাক্রমে অণুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের সংনমন ও তনুভবন অবস্থার সহিত তুলনা করা যাইতে পারে। এখানে মনে রাখিবে যে, **তরঙ্গের আকার (wave form) চলিয়া যায়, মাধ্যমের কণাগুলি চলে না।** কোন মাধ্যমের কোন অংশই স্থানান্তরিত হইয়া তরঙ্গের সঙ্গে চলে না। যদি তাহা হইত তবে বায়ুর ক্ষেত্রে শব্দের সঙ্গে বায়ুর কণাগুলি শব্দের উৎস হইতে সেকেণ্ডে 1120 ফুট বেগে চলিত। ঐ বেগ প্রচণ্ডতম ঝড়ের বেগেরও চেয়ে অধিক।

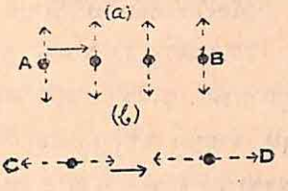
**75. Wave Front (তরঙ্গ-মুখ):** যদি কোনও তরঙ্গের মধ্যে সমদশা-প্রাপ্ত সকল বিন্দুকে একটি রেখা দ্বারা সংযুক্ত করা যায়, তবে ঐ রেখা হইবে **তরঙ্গ-মুখ**। যদি জলের উপর একই তরঙ্গের শীর্ষদেশে অবস্থিত সকল বিন্দু রেখার দ্বারা যুক্ত করা যায় কিংবা যদি একই তরঙ্গ পাদে অবস্থিত সকল বিন্দু সংযুক্ত করা যায় তাহা হইলে যে রেখা পাওয়া যাইবে তাহা তরঙ্গ-মুখ হইবে।

যদি কোন সমস্বত্ব (bomogeneous) মাধ্যমের ভিতর দিয়া এক বিন্দু হইতে তরঙ্গ প্রবাহিত হয় তাহা হইলে যে-কোন সময়ে ঐ বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া যদি গোলক (sphere) টানা হয় তাহা হইলে সেই গোলকের উপর সকল কণাই সমান দশায় (phase) অবস্থিত হইবে। অতএব এইরূপ গোলকের উপরিস্থিত তলকে তরঙ্গ-মুখ বলা চলে। এইরূপে কেন্দ্র হইতে বহুদূরে যদি তরঙ্গ-মুখকে নিরীক্ষণ করা যায় তাহা হইলে দেখা যাইবে যে, গোলকের কোন-এক ছোট অংশ প্রায় সমতল। এইরূপ অবস্থায় তরঙ্গ-মুখ এক সমতল ক্ষেত্রেও হইতে পারে। তরঙ্গ-প্রবাহের দিক ও তরঙ্গ-মুখ সকল সময়েই সমকোণে ছেদ করে।

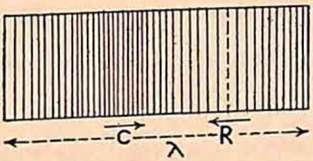
**76. তরঙ্গ-বেগ:** এক সেকেণ্ডে তরঙ্গ যতদূর যায় সেই দূরত্বকে তরঙ্গ-বেগ বলে। মনে কর $\lambda$ = তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য, T = পর্যায়কাল, V = তরঙ্গ-বেগ

$\therefore \quad V = \frac{\text{দূরত্ব}}{\text{সময়}} = \frac{\lambda}{T}$। আবার $\frac{1}{T} = n \quad \therefore \quad V = n\lambda.$

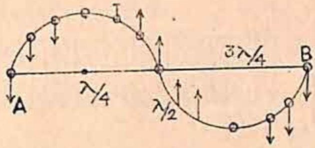
**77. দুই তরঙ্গের পার্থক্য :** (ক) তির্যক তরঙ্গে কণাগুলি তরঙ্গ-গতির অভিমুখের সহিত **সমকোণে** দুই ধারে উপর-নীচে কম্পিত হয়। অণুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের কণাগুলি তরঙ্গগতির অভিমুখের **সমান্তরালে** অগ্র-পশ্চাৎ কম্পিত হয়। 87 (*a*) নং চিত্রে AB কতকগুলি কণা তরঙ্গগতির সমকোণে কম্পিত হইতেছে। 87 (*b*) নং চিত্রে CD কতকগুলি কণা তরঙ্গ-গতির সমান্তরালে কম্পিত হইতেছে। আলোক বা তাপ বা তড়িৎ-তরঙ্গ—তির্যক তরঙ্গ, শব্দতরঙ্গ অণুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ। (খ) অণুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ক্ষেত্রে মাধ্যমের কণাগুলি ক্রমান্বয়ে সংকুচিত ও প্রসারিত অবস্থায় থাকে। তির্যক তরঙ্গের ক্ষেত্রে মাধ্যমের কণাগুলি বক্রপথে




87নং চিত্র।

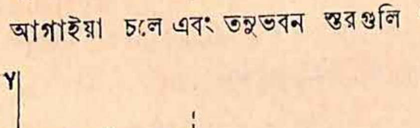



88নং চিত্র—অণুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ ; C-সংনমন R-তনুভবন।




89নং চিত্র—তির্যক তরঙ্গ কণাগুলির গতির দিক তীর চিহ্নিত করা আছে।

থাকে। (গ) অণুদৈর্ঘ্য তরঙ্গে সংকোচন স্তরগুলি তরঙ্গের গতিপথের দিকে আগাইয়া চলে এবং তনুভবন স্তরগুলি তরঙ্গের গতিপথের বিপরীত দিকে চলে। তির্যক তরঙ্গে শীর্ষবিন্দু হইতে পরবর্তী পাদবিন্দু পর্যন্ত কণাগুলি একই দিকে চলমান থাকে। পরবর্তী অর্ধ তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের মধ্যে কণাগুলির গতি বিপরীত দিকে হয়। গ্যাসের মধ্য দিয়া কেবল অণুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ যায়; কঠিন

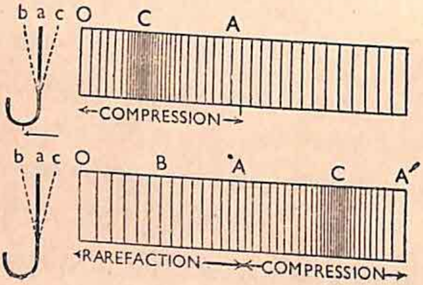



90নং চিত্র—তির্যক তরঙ্গের সময়-সরণ লেখচিত্র : OQ-তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, *a* বিন্দুর সরণ *ac*, *b* বিন্দুতে *bT* ইত্যাদি।

ও তরলের মধ্য দিয়া তির্যক ও অণুদৈর্ঘ্য দুই তরঙ্গই যায়। (ঙ) মাধ্যমের যে কোন স্তরের বিভিন্ন সময়ের সরণ, চাপ বা ঘনাঙ্ক লেখচিত্রে প্রকাশ করিলে লেখচিত্র বক্ররেখার মত হইবে। ইহাকে Sino-curve বলে।

**Mechanism of Sound Propagation (শব্দবিস্তারের কৌশল)ঃ**

78. এইবার আমরা শব্দ কি কৌশলে বায়ুতে চলে সেই বিষয়ে আলোচনা করিব। মনে কর, সুরশলাকার একটি বাহু (prong) কাঁপাইয়া শব্দ করানো হইল। ইহা সরল সমঞ্জস গতি সম্পন্ন হয় অর্থাৎ বার বার স্থির অবস্থানের দক্ষিণে ও বামে প্রায় সমবিস্তারে পর্যাবৃত্ত গতিতে আন্দোলিত হয়। মনে কর $a$ হইল বাহুর মধ্যক স্থির অবস্থান। বাহু $a$এর দুই দিকে $b$ ও $c$ পর্যন্ত কাঁপে। সুতরাং একটি সম্পূর্ণ কম্পনে বাহু $c$ হইতে $b$তে যায় এবং $b$ হইতে পুনরায় $c$তে আসে। এই সময়কে **পর্যায়কাল** T বলে। মনে কর, বাহুর সম্মুখস্থ বায়ু কতকগুলি সমবেধের স্তরে বিভক্ত হইয়া আছে। (91নং চিত্রে লম্বরেখা দ্বারা স্তর দেখানো হইয়াছে)। যখন বাহু $b$ হইতে $c$-এর দিকে যায় তখন ইহা সম্মুখস্থ বায়ুস্তরকে ধাক্কা দেয়। এই বায়ুস্তরের এই চাপে আয়তন কমিয়া যায় অর্থাৎ স্তরটি সংনমিত হয়, ফলে চাপ বাড়ে অর্থাৎ বায়ু বিকৃত (strained) হয়।



91নং চিত্র—শব্দ বিস্তারের কৌশল।

বায়ুর স্থিতিস্থাপকতা গুণের জন্য এই সংনমিত স্তর বিস্তৃত হইতে চেষ্টা করে। কিন্তু স্তরের বাম দিকে বাহুর বাধা থাকায় বায়ু বাম দিকে বিস্তৃত হইতে পারে না। সংনমিত স্তরটি ডান পার্শ্বের দ্বিতীয় স্তরকে সংনমিত করে এবং দ্বিতীয় স্তর পর্যায়ক্রমে তৃতীয় স্তরকে ধাক্কা দেয়। এইরূপে Compression pulse C (বা **সংনমন কম্পন**) স্তর হইতে স্তরে নির্দিষ্ট বেগে অগ্রসর হয়। যতক্ষণ বাহু $b$ হইতে $c$তে পৌঁছায় ততক্ষণে বাহুর সম্মুখস্থ কতকগুলি স্তর সংনমিত হয়। মনে কর, বাহুর পর্যায়কালের অর্ধেক সময়ে O হইতে A পর্যন্ত সমস্ত

স্তরগুলি সংনমিত হয় এবং এই সংনমন কম্পন শব্দের নির্দিষ্ট বেগে ডান দিকে অগ্রসর হয়।

এখন বাহু *c* হইতে যখন *b*র দিকে ফিরিয়া আসে তখন বাহুর পশ্চাতে বায়ুস্তরে আংশিক শূন্যতা (vacuum) উৎপন্ন হয়। সেইজন্য বাহুসংলগ্ন প্রথম বায়ুস্তরটির চাপ কমিয়া যায়। ইহাও বায়ুর বিকৃত অবস্থা ইহা বিস্তৃত হইয়া বাম দিকে সরিয়া আসে এবং পরপর প্রত্যেক বায়ুস্তরেই চাপ কমিয়া যাওয়াতে ইহারা পর্যায়ক্রমে বিস্তৃত হয়। কাজেই একটি rarefaction pulse B (**তনুভবন বা বিস্তৃত কম্পন**) এক স্তর হইতে অন্য স্তরে ডানদিকে চালিত হয়। এই তনুভবনের বেগ সংগমনের বেগের সমান হয়। এইরূপে বাহুটি যতক্ষণে *b*তে ফিরিয়া আসে ততক্ষণে বিস্তৃত স্তরগুলির দৈর্ঘ্য O হইতে A পর্যন্ত হয় এবং সংনমন স্তরের দৈর্ঘ্য ও তনুভবন স্তরের দৈর্ঘ্য সমান হয়। এই সময় সংনমন স্তরটি A হইতে A'তে চলিয়া আসিয়াছে। সুতরাং বাহুর একটি সম্পূর্ণ পর্যায়কালে আলোড়নটি O হইতে A' পর্যন্ত আসিয়াছে। O হইতে A' পর্যন্ত বায়ুস্তরগুলির অর্ধেক হইল সংনমন স্তর (AA') আর অর্ধেক হইল তনুভবন (OA') স্তর (নীচের চিত্র)। কম্পমান বস্তুর এক পর্যায়কালে আলোড়ন যে দূরত্বে যায় সেই দূরত্বকে **তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য** বলে। এখানে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য হইল OA'। সুতরাং **একটি শব্দতরঙ্গ = তনুভবন তরঙ্গ + সংনমন তরঙ্গ।** বাহুর একটি পূর্ণ স্পন্দনে একটি শব্দতরঙ্গ সৃষ্ট হয়। যখন কোন বস্তু সমসত্ত্ব ও সমধর্মী মাধ্যমে অনবরত কম্পিত হয় তখন সংনমন ও তনুভবন স্পন্দন পর্যায়ক্রমে সমবেগে ও সমভাবে চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে। এই স্পন্দনগুলি সমবেধের ফাঁপা গোলকের ন্যায়। এই গোলকগুলির ব্যাসার্ধ ক্রমশই বাড়িয়া যায়। কাগজের উপর ইহাদিগকে বৃত্তাকার আংটির ন্যায় প্রকাশ করা হয়। আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যে, জলের মধ্যে ঢিল ফেলিলে বৃত্তাকার তরঙ্গপাদ ও শীর্ষের উদ্ভব হয়। সর্বোচ্চ সংনমন ও তনুভবন কম্পন কতকটা তরঙ্গের পাদ ও শীর্ষের সঙ্গে তুলনীয়। ইহাদের মধ্যে পার্থক্য এই যে, জলকণা তরঙ্গগতির সমকোণে উঠানামা করে কিন্তু বায়ুকণা তরঙ্গগতির সমান্তরালে কম্পিত হয়।

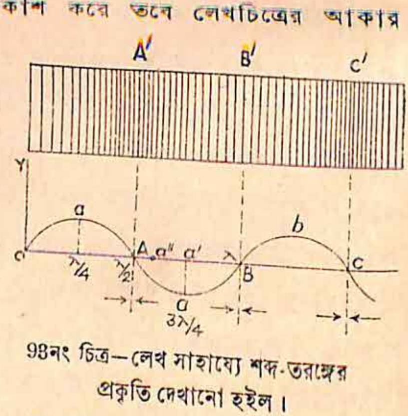
আমরা যখন কথা বলি তখন ফুস্‌ফুসের বায়ু শ্বাসনালীর মুখে দুইটি পাতলা পর্দা কাঁপাইয়া দেয়। এই পর্দার কম্পনের ফলে শব্দ উচ্চারিত হয়। এই কম্পন বায়ুতে আঘাত করিয়া বায়ুতে সংনমন ও তনুভবন কম্পন সৃষ্টি করে। এই সংনমন ও তনুভবন কম্পন বায়ুমাধ্যমের মধ্য দিয়া যাইয়া আমাদের কানের পর্দাকে আঘাত করে এবং এই পর্দা শব্দতরঙ্গের সমতালে কম্পিত হয়। পর্দার এই কম্পন কানের বিভিন্ন যন্ত্র দিয়া মস্তিষ্কে পৌছায় ও শব্দানুভূতি উৎপন্ন হয়।




92নং চিত্র—একটি ঘণ্টার শব্দ কি প্রকারে কানে পৌছায় তাহা দেখানো হইয়াছে। C-সংনমন তরঙ্গ, R-তনুভবন তরঙ্গ।

এখানে আর একটি জিনিস মনে রাখিবে। সুরশলাকার বাহুর বেগ $b$ হইতে $c$ পর্যন্ত সমান হয় না। $b$তে ও $c$তে বেগ সর্বাপেক্ষা বেশী হয়। আবার বাহুর দ্বারা বায়ুর উপর যে চাপ পড়ে তাহা বাহুর বেগের উপর নির্ভর করে। সুতরাং সংনমনের বা তনুভবনের মাত্রা সংনমন কম্পনের বা তনুভবন কম্পনের মাঝখানে খুব বেশী হয়, দুইধারে কম থাকে। 92নং চিত্রে ঘন ও পাতলা রেখা দ্বারা ইহা বুঝানো হইয়াছে।

যদি একটি লেখচিত্রে $x$-অক্ষ কণাগুলির অবস্থান ও $y$-অক্ষ বায়ুস্তরের সংনমন ও তনুভবন জনিত সরণ প্রকাশ করে তবে লেখচিত্রের আকার তরঙ্গের মত হইবে। $x$-অক্ষ বরাবর পর পর একটি সংনমন কম্পন ও তনুভবন কম্পনের মোট দৈর্ঘ্য = তরঙ্গ দৈর্ঘ্য। শব্দ-তরঙ্গের গতিপথে যে কোন কণার সরণের লেখ তরঙ্গের আকার হয়।




93নং চিত্র—লেখ সাহায্যে শব্দ-তরঙ্গের প্রকৃতি দেখানো হইল।

উপরের চিত্রে কম্পিত সুরশলাকার ক্রিয়ায় বায়ুতে সংনমন ও তনুভবনের প্রকৃতি দেখানো হইয়াছে। A′ C′ অবস্থানের বায়ুস্তর সর্বাপেক্ষা

সংনমিত হইয়াছে এবং B′ D′ অবস্থানের বায়ুস্তর সর্বাপেক্ষা তনুভূত হইয়াছে।

নীচের লেখচিত্রে কোন একটি নির্দিষ্ট ক্ষণে সকল বায়ুস্তরের সংনমনের বা তনুভবনের মান $y$-অক্ষ বরাবর বোঝানো হইয়াছে। তরঙ্গ-লেখ হইল $OaAa'''B\cdots$, তরঙ্গগতির পথ হইল OABCD⋯সরলরেখা। OX অক্ষ হইতে সংনমন উপর দিকে (ধন সরণ) এবং তনুভবন নীচের দিকে (ঋণ সরণ) তরঙ্গরেখা পর্যন্ত অভিলম্ব দূরত্ব প্রকাশ করে।

79. **শব্দ তরঙ্গধর্মী** (Sound is wave motion): স্বনকের কম্পনে শব্দ উৎপন্ন হয় এবং জড় মাধ্যম ব্যতীত শব্দ বিস্তৃতি লাভ করে না। স্বনকের কম্পনের গতিশক্তি জড়মাধ্যমের সাহায্যে কানে আসিয়া পৌছাইলে শব্দের অনুভূতি জাগ্রত হয়। জড়মাধ্যমের দ্বারা দুইটি উপায়ে এক স্থান হইতে অন্য স্থানে শব্দ সঞ্চালিত হইতে পারে:—যথা (1) মাধ্যমের কণার স্থানান্তর দ্বারা, (2) তরঙ্গপ্রবাহ দ্বারা। কিন্তু আমরা দেখিতে পাই যে, বন্দুক ছোড়া হইলে বারুদের ধোঁয়া বেশী দূর যায় না কিন্তু শব্দ অনেক দূর যায়। সুতরাং মাধ্যমের কণাগুলি এক স্থান হইতে অন্য স্থানে যায় না। কঠিনের ভিতর দিয়া শব্দ বিস্তারের কথা ভাবিলেও ইহা বোঝা যায়।

অতএব ইহা অনুমান করা যায় যে, মাধ্যমের এক কণা হইতে অন্য কণায় শব্দশক্তি তরঙ্গের আকারে প্রবাহিত হয়। নিম্নোক্ত ঘটনাগুলি দ্বারা এই মত সমর্থন করা যায়:

(ক) শব্দ কোন বস্তুর কম্পন হইতে উদ্ভূত হয়। তরঙ্গও কোন বস্তুর কম্পন হইতে উদ্ভূত হয়।

(খ) তরঙ্গের একস্থান হইতে আর একস্থানে যাইতে সময় লাগে। শব্দেরও একস্থান হইতে আর একস্থানে যাইতে সময় লাগে।

(গ) কঠিন ও তরলে শব্দের বেগ গ্যাসে শব্দের বেগ অপেক্ষা বেশী হয়। ইহা একমাত্র তরঙ্গ-গতি দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়।

(ঘ) তরঙ্গ-প্রবাহের জন্য স্থিতিস্থাপক মাধ্যম দরকার, শব্দ-প্রবাহের জন্যও স্থিতিস্থাপক মাধ্যম দরকার। মাধ্যমের কণাগুলি স্থানান্তরিত না হইয়াও শব্দকে পরিবহন করে।

(ঙ) তরঙ্গ নির্দিষ্ট নিয়মে প্রতিফলিত (reflected) ও প্রতিসৃত (refracted) হয়; শব্দও সেই নিয়মেই প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত হয়।

(চ) দুইটি বিভিন্ন প্রস্থবিশিষ্ট তরঙ্গ একই সময়ে একই মাধ্যমের একই স্থানের ভিতর দিয়া যাইবার সময় কতকগুলি অবস্থায় এক তরঙ্গ অপর তরঙ্গের ফলকে প্রশমিত করে। এই ঘটনাকে **ব্যতিচার** (interference) বলে। শব্দের বেলায়ও সেই নিয়মই প্রযোজ্য। ইহাতে শব্দাভাব ঘটে। পরে দেখা যাইবে যে, দুইটি শব্দ-তরঙ্গের ব্যতিচারের ফলে **স্বরকম্প** (Beats) ঘটিয়া থাকে।

(ছ) শব্দতরঙ্গ কোন বাধার পার্শ্ব দিয়া চলিয়া যায়। কোন দেওয়ালের অপর দিকে শব্দ হইলে দেওয়ালের পশ্চাতের লোক শুনিতে পায়, শব্দতরঙ্গ দেওয়াল ঘুরিয়া চলিয়া যায়। শব্দতরঙ্গের বাঁকাপথে চলাকে **অববর্তন** (Diffraction) বলে। দেওয়াল টপকানো সম্ভবপর হয় কারণ শব্দের তরঙ্গ-দৈর্ঘ খুব বড়। আলোক তরঙ্গের বেলায়ও রৈখিক পথ হইতে বিচ্যুতি ঘটে কিন্তু সেটা খুবই সামান্য। ইহার কারণ হইতেছে যে, আলোকের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য শব্দ-তরঙ্গের তুলনায় খুবই ছোট।

80. **সুর শলাকার শব্দের বিশেষত্ব:** সুরশলাকা হইতে উত্থিত শব্দের কম্পনাঙ্ক (frequency) ও মাধ্যমের কম্পনাঙ্ক একই হয়। সুরশলাকার শব্দের কম্পনাঙ্ক নির্দিষ্ট থাকে। সুরশলাকার শব্দ বিশুদ্ধ শব্দ, সুরশলাকা ব্যতীত অন্য উৎস হইতে একাধিক কম্পনাঙ্কযুক্ত জটিল শব্দ উত্থিত হয়। সুর-শলাকার প্রান্তগুলি ইহার দৈর্ঘ্যের সমকোণে কম্পিত হয় অর্থাৎ সুরশলাকার নিজস্ব কম্পন তির্যক কম্পন। এই কম্পন হইতে সৃষ্ট বায়ু-কণার কম্পন অনুদৈর্ঘ কম্পন।

**অঙ্ক 1.** If the frequency of a tuning fork is 400 and the velocity of sound in air is 320 metres per second, find how far sound travels when the fork executes 30 vibrations,

(C. U. 1913)

এক সেকেণ্ডে শলাকার বাহু 400 বার কম্পন করে এবং ঠিক এক

সেকেণ্ডে শব্দতরঙ্গ 320 মিটার গমন করে। সুতরাং যে সময়ে বাহু 30 বার কম্পন করে সেই সময়ে শব্দতরঙ্গ $\frac{320}{400}\times 30=24$ মিটার গমন করে।

2. A body vibrating with a constant frequency sends waves 10 cm. long through a medium A and 15 cm. long through another medium B. The velocity of the waves in A is 90 cm. per sec. Find the velocity of the waves in B.
(C. U. 1931)

মনে কর, B মাধ্যমে তরঙ্গের বেগ $=V$ ; আমরা জানি, বেগ = স্পন্দন-সংখ্যা × তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য $\therefore$ A মাধ্যমের জন্য $90=n\times 10$ $\therefore$ $n=9$ প্রতি সেকেণ্ডে, B মাধ্যমের জন্য $V=n\times 15=9\times 15=135$ সেঃ মিঃ প্রতি সেকেণ্ডে। এখানে $n$ = স্পন্দন-সংখ্যা। ইহা A ও B মাধ্যমে একই হয়।

## সারাংশ

কোন কম্পমান বস্তু নির্দিষ্ট সময় অন্তর পর পর একই অবস্থানের মধ্য দিয়া অতিক্রম করিলে উহার গতিকে পর্যাবৃত্ত গতি বলে। এক কণিকা হইতে অপর কণিকায় গতি-স্থানান্তরের কৌশলকে তরঙ্গগতি বলে। কোন কণিকা তরঙ্গগতির অভিমুখের সহিত সমকোণে স্পন্দিত হইলে কম্পনকে তির্যক কম্পন বলে। আর কোন কণিকা তরঙ্গের সমান্তরালে এদিক-ওদিক কম্পিত হইলে কম্পনকে অনুদৈর্ঘ্য কম্পন বলে। ক্রোভার চাকতি, কুণ্ডলী স্প্রিং দ্বারা ইহা দেখান যায়। শব্দতরঙ্গ = তনুভবন তরঙ্গ + সংনমন তরঙ্গ। শব্দ তরঙ্গধর্মী।

## প্রশ্ন

1. সরল সমঞ্জস গতি কাহাকে বলে চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর। সেই সূত্রে নিম্নলিখিত শব্দ ব্যাখ্যা কর :—সম্পূর্ণ দোলন, পর্যায়কাল, কম্পনাঙ্ক বিস্তার দশা।

Explain what is meant by simple harmonic motion and explain the following terms in this connection ;—One complete oscillation, periodic time, frequency, amplitude, phase.

2. তরঙ্গের বিস্তার, কম্পনাঙ্ক, তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কাহাকে বলে চিত্র আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও। তরঙ্গের বেগ ও তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের মধ্যে সম্পর্ক কি ?

Explain with diagram the terms with respect to wave :– amplitude, frequency, wave length. What is the relation between velocity and wave length ? ( A. U. 1920, P. U. 1928 )

3. কোন মাধ্যমে অণুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ-গতি কাহাকে বলে চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর। যে মাধ্যমে শব্দ বিস্তার লাভ করে সে মাধ্যমের কি অবস্থা হয় বর্ণনা কর।

Explain with a diagram what is called a longitudinal wave in a medium. Describe what happens in a medium when sound is propagated through it.

( C. U. 1919, '20, '22 ; P. U. 1918 )

4. অণুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ ও তির্যক তরঙ্গ উদাহরণসহ বুঝাও। তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কাহাকে বলে ?

Explain with examples what are transverse and longitudinal waves. What is wave length in each case ? ( C. U. 1938 )

5. শব্দ তরঙ্গ-গতির দ্বারা বিস্তার লাভ করে এই মতের সমর্থনে কি যুক্তি আছে বল।

Sound is propagated by wave-motion. What are the reasons in support of it ? ( A. U. 1913, '15 ; C. U. 1929 )

6. বায়ুর মধ্য দিয়া শব্দ-বিস্তারের কৌশল ব্যাখ্যা কর।

Explain the mechanism of sound propagation in air. ( C. U. 1945, '51 )

7. তরঙ্গ-গতির প্রধান বৈশিষ্ট্য বল। শব্দ-তরঙ্গ ও আলোক-তরঙ্গের পার্থক্য ও সাদৃশ্য কি কি ?

What are the chief characteristics of wave motion ? What are the similarity and dissimilarity between sound waves and light waves.

8. স্থিতিস্থাপক মাধ্যমে কোন কম্পমান কণিকা দ্বারা কিরূপে তরঙ্গের উৎপত্তি হয় বর্ণনা কর।

Describe how waves are produced by a avibrating particle in an elastic medium.

9. $V = n\lambda$-এই সমীকরণ বাহির কর। Find the equation $V = n\lambda$.

———

# তৃতীয় অধ্যায়

## Velocity of Sound ( শব্দের বেগ )

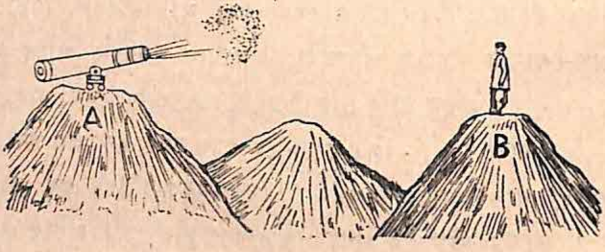
81. **বায়ুতে শব্দের বেগ :** আলোকতরঙ্গের মত শব্দতরঙ্গও নির্দিষ্ট বেগে গমন করে কিন্তু আলোকতরঙ্গের বেগ শব্দতরঙ্গের বেগের তুলনায় খুব প্রচণ্ড। আলোকতরঙ্গ সেকেণ্ডে 186000 মাইল যায়, বায়ুতে শব্দতরঙ্গ সেকেণ্ডে মাত্র 332 মিটার বা 1120 ফিট যায়। আলোর উৎস হইতে আলোক তরঙ্গ চোখে পড়িলে উহা দেখিতে পাই। শব্দের উৎস হইতে শব্দ তরঙ্গ কাণে পৌঁছিলে আমরা শব্দ শুনিতে পাই। নিম্নলিখিত সাধারণ দৃষ্টান্ত হইতে তুই তরঙ্গের বেগের পার্থক্য বোঝা যায় : (ক) এক মাইল দূরে কালবৈশাখীর আকাশে একসঙ্গেই বজ্রধ্বনি হইলে ও বিদ্যুৎ চমকাইলে আমরা 0·0000054 সেকেণ্ড পরে বিদ্যুৎ দেখিব কিন্তু 5 সেকেণ্ড পরে বজ্রের শব্দ শুনিব। 0·0000054 সেকেণ্ড সময় কিছুই না, সুতরাং বিদ্যুৎ দেখা ও বজ্রের শব্দ-শোনার সময়ের ব্যবধানে শব্দতরঙ্গ 1 মাইল আসে এইরূপ ধরা যায়। (খ) বহুদূরের এঞ্জিন বাঁশি বাজাইলে প্রথমে ধোঁয়া দেখা যায়, কিছু পরে বাঁশির শব্দ শোনা যায়। (গ) বন্দুক ছোড়ার সময় বন্দুকের আলো আমরা আগে দেখি, পরে আওয়াজ শুনি। (ঘ) বৃহৎ দীঘির এক পাড়ে ধোপা আছড়াইয়া কাপড় কাচিলে অপর পাড়ে কাপড় কাঠে পড়িবার একটু পরে শব্দ শোনা যায়। (ঙ) দূর হইতে ক্রিকেট খেলা দেখিবার সময় ব্যাট ও বলের সংঘর্ষ হইবার কিছুক্ষণ পরে শব্দ শোনা যায়। সব ক্ষেত্রেই চোখে-দেখা আগে হয়, কানে-শোনা পরে হয়। সুতরাং কম দূরত্বে শব্দের বেগ-নির্ণয়ে আলোকের ভ্রমণের সময় গণনায় ধরা হয় না।

82. **শব্দের বেগ নির্ণয়ের পরীক্ষা** ( Experimental Determination ) : নিম্নলিখিত উপায়ে শব্দের বেগ নির্ণয় করা যায় : (ক) **খোলা বায়ুতে পরীক্ষা** ( Open air Method )। (খ) **বায়ুস্তরের অনুনাদ** ( Resonance of air column )।

**(ক) খোলা বায়ুতে পরীক্ষা :**

**নীতি**—মোটামুটিভাবে এই পরীক্ষায় পর্যবেক্ষকের কিছুদূরে A স্থান হইতে শব্দ করা হয়, সঙ্গে সঙ্গেই দূর থেকে শব্দ করার মুহূর্ত জ্ঞাপন করা হয় এবং শব্দ অপর B স্থানে পর্যবেক্ষকের কানে পৌঁছাইলে সময়ের ব্যবধান দেখা হয়। তারপর A ও B স্থানের দূরত্বকে সময়ের ব্যবধান দিয়া ভাগ করিয়া শব্দের বেগ নিরূপিত হয়।

**পরীক্ষা** :—1738 খৃষ্টাব্দে প্যারিসের কয়েকজন বৈজ্ঞানিক প্রায় 18 মাইল দূরে দূরে অবস্থিত দুইটি A ও B পাহাড়ের চূড়া পরীক্ষার স্থানরূপে স্থির করেন। দুইটি চূড়ার উপর দুইটি কামান ও কয়েকজন পর্যবেক্ষক stop ঘড়ি লইয়া অবস্থান করেন। এই stop ঘড়িতে $\frac{1}{18}$ সেকেণ্ড পর্যন্ত সময় পড়া যায়। মনে কর, A পাহাড়ের চূড়ায় অবস্থিত কামান ছোঁড়া হয়। কামানের আলো দেখার সঙ্গে সঙ্গেই B পাহাড়ের পর্যবেক্ষক ঘড়ি চালিয়ে দেন। যখন B পাহাড়ের পর্যবেক্ষকের কানে কামানের শব্দ এসে পৌঁছায় তখন তিনি stop

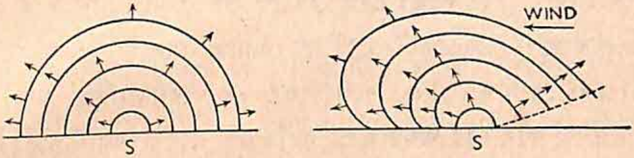



94নং চিত্র—বায়ুতে শব্দের গতি নির্ণয়।

ঘড়ি বন্ধ করে দেন এবং সময়ের ব্যবধান লিখিয়া রাখেন। আবার B পাহাড়ের উপর কামান ছোঁড়া হয় এবং প্রথমোক্ত পাহাড়ের পর্যবেক্ষক পূর্বোক্ত উপায়ে সময় দেখেন। এই পদ্ধতিকে বিপরীত (reciprocal) পর্যবেক্ষণ বলা হয়। এখন ঐ দুইটি পাহাড়ের দূরত্ব যদি $x$ ফিট হয় ও দুইটি সময় যদি $t_1$ ও $t_2$ সেকেণ্ড হয়, তবে $\frac{x}{t_1}$ ও $\frac{x}{t_2}$ দুই দিক হইতে শব্দের বেগের পরিমাপ এবং ইহার গড় হইবে সঠিক বেগ $= \frac{1}{2}\left(\frac{x}{t_1}+\frac{x}{t_2}\right)$ ফিট প্রতি সেকেণ্ডে।

এই পরীক্ষায় দুইটি কারণে গণনায় ভুল হইতে পারে :

(1) **বায়ুর বেগ :** যদি বায়ুর বেগ শব্দের গতি অভিমুখী হয় তবে বায়ু শব্দের বেগকে সাহায্য করিবে ও শব্দের বেগকে বর্ধিত করিবে এবং বিপরীত দিকে প্রবাহিত হইলে শব্দের বেগকে কমাইয়া দিবে। উপরোক্ত বিপরীত




95নং চিত্র—শব্দতরঙ্গের উপর বায়ুপ্রবাহের প্রভাব।

পর্যবেক্ষণের ফলে দুই দিকের বেগের গড় লইলে বায়ুপ্রবাহের দরুন ভুল অপনোদিত হইবে। মনে কর, প্রথম চূড়া হইতে দ্বিতীয় চূড়ার দিকে বায়ুর বেগ $=v$, নিশ্চল বায়ুতে শব্দের বেগ $=\mathrm{V}$.

$$\therefore \quad \mathrm{V}+v=\frac{x}{t_1},\ \mathrm{V}-v=\frac{x}{t_2} \qquad \therefore \quad \mathrm{V}=\tfrac{1}{2}\left(\frac{x}{t_1}+\frac{x}{t_2}\right)$$

(2) **পর্যবেক্ষকের নিজের ভুল** (Personal equation) **:** পর্যবেক্ষক কামানের আলো দেখিয়া stop ঘড়ি চালাইতে কিংবা শব্দ শুনিয়া ঘড়ি বন্ধ করিতে যে সামান্য সময় লন তাহা এই ভুলের কারণ। যেমন ধরা যাক, আলো-দেখা ও ঘড়ি-চালানোর মধ্যে ব্যবধান হইল $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ড এবং শব্দ শোনা ও ঘড়ি-চালানোর মধ্যে ব্যবধান হইল $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড। অতএব $\frac{1}{5}-\frac{1}{10}$ $=\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড দুই কার্যে বেশী সময় লাগিল, $t_1$ কিংবা $t_2$-এর মধ্যে ঐ ভুলটি থাকিয়া গেল। শব্দের বেগ নিরূপণও নির্ভুল হইল না। এই ভুল অবশ্য নিবারণ করিতে হইলে তড়িতের সাহায্য লইতে হয়। তড়িৎ-ঘড়ির সাহায্যে কামান ছোড়ার মুহূর্তটি স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থায় লিপিবদ্ধ হয়। দূরবর্তী পাহাড়ে শব্দ-শোনার মুহূর্তটি তপ্ত মাইক্রোফনের তার সংলগ্ন ফটোফিল্মে মুদ্রিত হয়। এই উপায়ে শব্দের বেগ নির্ভুলভাবে নির্ণীত হয়।

শব্দের বেগ 0°Cতে মুক্ত বায়ুতে 332·4 মিটার প্রতি সেকেণ্ডে কিংবা 1120 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে।

**83. পরীক্ষার ফল :** বিভিন্ন পরীক্ষক বায়ুর বিভিন্ন উষ্ণতা, চাপ ও আর্দ্রতায় শব্দের বেগ নির্ণয় করিয়া নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তে উপনীত হন :— (1) বায়ুর চাপ-পরিবর্তনে শব্দের বেগের কোন পরিবর্তন হয় না। (2) শব্দের বেগ বায়ুর উষ্ণতা ও আর্দ্রতা বৃদ্ধির সঙ্গে বাড়ে। (3) শব্দের বেগ বায়ুর অভিমুখে বাড়ে। (4) শব্দের বেগ O°Cতে শুষ্ক ও স্থির বায়ুতে 332·26 মিঃ প্রতি সেকেণ্ডে। Regnault পরীক্ষা করিয়া দেখান যে, প্রবল (loud) শব্দের ( যথা, বোমার প্রচণ্ড বিস্ফোরণের শব্দ ) বেগ বাড়িয়া যায়। প্রথম মহাযুদ্ধে শত্রুর কামানের অবস্থান জানিবার জন্য শব্দের বেগ নির্ণয়ের (sound ranging) নানা প্রকার নূতন কৌশল উদ্ভাবিত হয়।

**84. নিউটনের সূত্র** ( Newton's Formula ) **:** নিউটন সর্বপ্রথম অণুদৈর্ঘ্য-তরঙ্গের তথা শব্দতরঙ্গের বেগের সূত্র আবিষ্কার করেন। সূত্রটি এইরূপ : শব্দের বেগ মাধ্যমের আয়তনাঙ্কের বর্গমূলের সমানুপাতিক হয় এবং ঘনাঙ্কের ব্যস্তানুপাতিক হয়। অর্থাৎ বেগ নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় :

$$V=\sqrt{\frac{E}{D}}$$

V—শব্দতরঙ্গের বেগ

E—মাধ্যমের আয়তন স্থিতিস্থাপনাঙ্ক ( Modulus of bulk elasticity )

D—মাধ্যমের ঘনাঙ্ক ( Density )

আমরা জানি মাধ্যমের স্থিতিস্থাপনাঙ্ক $=\frac{\text{আয়তন পীড়ন}}{\text{আয়তন বিকৃতি}}$, কিন্তু গ্যাসের বেলায় আয়তন পীড়ন = এক সেণ্টিমিটার ক্ষেত্রফলের উপর চাপের পরিবর্তন, আয়তন বিকৃতি = অনুরূপ আয়তনের বিকৃতি, অর্থাৎ এক ঘন সেঃ মিঃ মাধ্যমে উপরোক্ত পীড়নের দরুন যতটুকু আয়তনের পরিবর্তন ঘটে তাহাই হইল আয়তন বিকৃতি।

অতএব, নিউটনের নিয়ম অনুসারে গ্যাসের মধ্যে শব্দ-তরঙ্গের বেগ নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশিত হয় :

$$V=\sqrt{\frac{P}{D}}$$

**85. সাধারণ উষ্ণতা ও চাপে (N. T. P.) শব্দ-বেগ গণনা :**

মনে কর, বায়ুর সাধারণ চাপ $= P = 76 \times 13{\cdot}596 \times 980{\cdot}6 = 1{\cdot}013 \times 10^6$ ডাইন/সে. মি.$^2$।

মনে কর, বায়ুর ঘনাঙ্ক $= D = 0{\cdot}001293$ ডাইন প্রতি ঘন সেঃ মিঃ

$\therefore$ বায়ুতে 0° উষ্ণতায় 76 সে. মি. চাপে শব্দের বেগ

$= \sqrt{\dfrac{76 \times 13{\cdot}596 \times 980{\cdot}6}{0{\cdot}001293}} = 280$ মিটার প্রতি সেকেণ্ডে ( কমবেশী )।

কিন্তু পরীক্ষায় O°Cতে শব্দ-বেগ 332 মিটার প্রতি সেকেণ্ডে পাওয়া যায়, সুতরাং নিউটনের হিসাবে কোথাও গলদ ছিল।

**86. লাপলাসের সংশোধন** (Laplace's Correction) : নিউটন ধরিয়া লন যে, শব্দ-তরঙ্গ বায়ুর মধ্য দিয়া যাইবার সময় বায়ুর আয়তনের যে পরিবর্তন হয় তাহাতে বায়ুর উষ্ণতার কোন পরিবর্তন ঘটে না, ইহা ভুল। লাপলাস দেখান যে সংনমনের সময় মাধ্যমের উষ্ণতা বৃদ্ধি পায় ও তনুভবনের সময় মাধ্যমের উষ্ণতা হ্রাস পায়। কিন্তু সংনমন ও তনুভবন এত দ্রুত ঘটে যে, সংনমনের তাপ ও তনুভবনের শৈত্য উভয়ই তরঙ্গের মধ্যেই থাকিয়া যায়। গ্যাসের পরিবাহিতা ও বিকিরণ ক্ষমতা কম বলিয়াই এইরূপ ঘটে।

ইহার গণনা জটিল, তবে লাপলাসের সংশোধিত সমীকরণ

$$V = \sqrt{\gamma \times \frac{P}{D}};$$

এক পরমাণুক (monoatomic) গ্যাসের বেলায় $\gamma = 1{\cdot}66$ ; দুই পরমাণুক ( diatomic ) গ্যাসের বেলায় $\gamma = 1{\cdot}41$.

**87. গ্যাসে শব্দ-বেগের উপর চাপ, উষ্ণতা ও আর্দ্রতার প্রভাব** ( Effects of pressure, temperature and humidity on velocity of sound ) : (ক) **চাপের প্রভাব** : উষ্ণতা সমান থাকিলে চাপের তারতম্যে শব্দ-বেগ (V) প্রভাবিত হয় না।

**প্রমাণ :** মনে কর, কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ $= P_1$ ও $P_2$, আয়তন $= v_1$ ও $v_2$, ঘনাঙ্ক $= D_1$ ও $D_2$ ; তবে বয়লের সূত্র অনুসারে $P_1 v_1$

$=P_2v_2$ ; $\therefore$ $\frac{P_1}{P_2}=\frac{v_2}{v_1}$ কিন্তু $\frac{v_2}{v_1}=\frac{D_1}{D_2}$, কারণ $v_1D_1=v_2D_2=$ ভর।

গ্যাসের ভর সমান থাকে, অতএব $\frac{P_1}{D_1}=\frac{P_2}{D_2}=$ ধ্রুবক।

কিন্তু $V=\sqrt{\frac{1\cdot41P}{D}}$। এই সমীকরণে $\frac{P}{D}=$ ধ্রুবক $\therefore$ $V=$ ধ্রুবক।

**উষ্ণতা সমান থাকিলে চাপের পরিবর্তনে শব্দের বেগের পরিবর্তন হয় না।**

(খ) **উষ্ণতার প্রভাব :** বায়ুর উষ্ণতার পরিবর্তনে ঘনাঙ্কের পরিবর্তন ঘটে। মনে কর, $D_o$ ও $D_t$ বায়ুর O°C ও $t$°Cতে ঘনাঙ্ক। $\therefore$ চার্লসের নিয়মানুসারে :

$$D_o=D_t(1+\alpha t)\ ;\ \alpha=\text{গ্যাসের প্রসারাঙ্ক}=\frac{1}{273}$$

$$\frac{D_o}{D_t}=1+\frac{t}{273}=\frac{273+t}{273}.$$

O°C ও $t$°C উষ্ণতায় বায়ুতে শব্দের বেগ $V_t$ ও $V_o$ হয়, তবে

$$V_o=\sqrt{\frac{1\cdot41\times P}{D_o}} \text{ এবং } V_t=\sqrt{\frac{1\cdot41P}{D_t}}$$

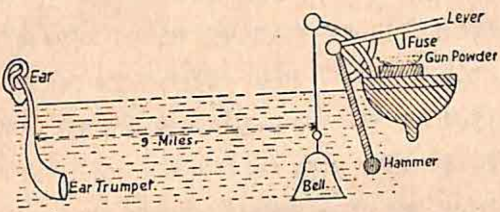
$$\therefore\ \frac{V_t}{V_o}=\sqrt{\frac{D_o}{D_t}}=\sqrt{\frac{273+t}{273}}=\sqrt{\frac{T}{T_o}}$$ । T, $T_o$ চরম উষ্ণতা (absolute temperature)।

**শব্দের বেগ চরম উষ্ণতার বর্গমূলের সহিত সমানুপাতিক হয়।** উষ্ণতা বাড়িলে বেগ বাড়ে।

**প্রতি 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে** 61 সেঃ মিঃ বা 2 ft. করিয়া শব্দ বেগ বর্ধিত হয়।

(গ) **আর্দ্রতার প্রভাব :** বায়ুর অপেক্ষা জলীয় বাষ্পের ঘনাঙ্ক কম ; বাষ্পের ঘনাঙ্ক $=0\cdot62$ বায়ুর তুলনায়, অতএব জলীয় বাষ্প থাকিলে বায়ুর ঘনাঙ্ক কমিবে অর্থাৎ শব্দের বেগ বাড়িবে ; সেই কারণে আর্দ্র বায়ুতে শব্দ-বেগ বেশী হয়।

**88. জলের মধ্যে শব্দের বেগঃ** 1827 খ্রীস্টাব্দে Colladon ও Sturm জেনেভা হ্রদে জলের ভিতর শব্দের বেগ নির্ধারণ করেন। নয় মাইল ব্যবধানে দুই স্থানে পর্যবেক্ষণের ব্যবস্থা হয়। একস্থানে নৌকার উপর কিছু বারুদে (gun powder) আগুন দিয়া শব্দ-প্রেরণের মুহূর্ত অপর নৌকায় অবস্থিত পর্যবেক্ষককে জানানো হয় এবং সেই সময়েই সেই নৌকায় জলের ভিতর অবস্থিত একটি হাতুড়ি দ্বারা ঘণ্টায় আঘাত করা হয়। অপর দিকে




96নং চিত্র—জলের ভিতর শব্দের বেগ নির্ণয়ের পরীক্ষা।

অবস্থিত পর্যবেক্ষক Ear trumpet জলের মধ্যে রাখিয়া শব্দ পৌছানোর মুহূর্ত দেখেন। এইরূপে দূরত্বকে সময় দিয়া ভাগ করিয়া শব্দ-বেগ বাহির করা হয়। দেখা যায় যে, 8·1C উষ্ণতায় জলে শব্দ-বেগ 1435 মিটার প্রতি সেকেণ্ডে। আধুনিক যুগে 1917 খ্রীস্টাব্দে ডুবো জাহাজের সাহায্যে শব্দ-বেগ নিরূপিত হয়। জলে শব্দ-বেগের মান প্রায় বায়ুতে শব্দ-বেগের 4 গুণ।

**89. কঠিনের মধ্যে শব্দ-বেগঃ** কঠিনে শব্দ-বেগ অনেক বেশী। একটা খুব লম্বা লোহার নলে একদিকে শব্দ করিলে ও অপর দিকে নলের উপর কান রাখিলে দুইটি শব্দ শোনা যায়। প্রথমটি নলের গাত্র দিয়া আসে এবং অপরটি বায়ুর ভিতর দিয়া আসে। এই সময়ের ব্যবধান জানা থাকিলে লোহার ভিতর দিয়া শব্দ-বেগ নিরূপণ করা যায়।

ধরা যাক যে, $d$=নলের দৈর্ঘ্য, $V_s$ = কঠিনের মধ্যে শব্দ-বেগ, V = বায়ুর মধ্যে শব্দ-বেগ, $t$ দুইটি শব্দের মধ্যে ব্যবধান,

$\therefore \quad t=\frac{d}{V_s}-\frac{d}{V}$, অতএব $V_s$ গণনা করা যাইতে পারে।

বায়ট (Biot) কতকগুলি ছোট লোহার (cast iron) নল পর পর জোড়া দিয়া মোট 951 মিটার দীর্ঘ একটি বড় নল প্রস্তুত করেন। তিনি এই যুক্ত নলের এক দিকে ঘণ্টা বাজান। অপর দিকে দুইটি শব্দ শোনা যায়, একটি শব্দ-তরঙ্গ নলের ভিতরের বায়ুর মধ্য দিয়া যায় আর একটি শব্দ-তরঙ্গ লোহার মধ্য দিয়া যায়। কিন্তু বায়ুতে ও লোহায় শব্দ-তরঙ্গের বেগের পার্থক্যের জন্য দুই শব্দ-শোনার সময়ের পার্থক্য দেখা যায় 2·5 সেকেণ্ড।

**90. শব্দের বেগের দৃষ্টান্ত :** (ক) বায়ু অপেক্ষা তরল ও কঠিনে শব্দের বেগ বেশী। সেইজন্য কোন শব্দ আমরা বায়ু অপেক্ষা কঠিন ও তরলের মধ্য দিয়া শীঘ্র শীঘ্র শুনিতে পাই। কোন কাঠ বা ধাতব বোর্ডের উপর আস্তে আস্তে আঁচড় কাটিলে এবং বোর্ডে কান রাখিলে কাঠের মধ্য দিয়া শব্দ-শোনা যায় কিন্তু কান উঠাইয়া লইলে বায়ুর মধ্য দিয়া শব্দ শোনা যায় না। মাটিতে কান রাখিলে অনেক দূর হইতে দ্রুতগামী ঘোড়ার খুরের শব্দ কিংবা রেল-গাড়ীর শব্দ খুব স্পষ্ট শোনা যায়। কিন্তু কান উঠাইয়া লইলে শব্দ শোনা যায় না। পাকা ঘরের মেঝেয় কান রাখিলে ঘরের অন্য প্রান্তে খুট্ করিয়া শব্দ হইলে স্পষ্ট শোনা যায়।

জলের নলে ছিদ্র হইয়াছে কিনা দেখিবার জন্য মিস্ত্রিরা মধ্যে মধ্যে জলের নলের গায়ে লোহার দণ্ডের এক প্রান্ত লাগাইয়া দণ্ডের অপর প্রান্ত কানে দেয় অর্থাৎ দণ্ডের দ্বারা জলের নল হইতে কান পর্যন্ত একটি কঠিন দ্রব্যের সংযোগ রক্ষা করে। ইহাতে দূরের ছিদ্র দিয়া জলপতনের শব্দ শোনা যায়। ডাক্তার হৃৎ-পরীক্ষক যন্ত্রকে ( stethescope ) রোগীর বুকের উপর চাপিয়া ধরে। ইহাতে কান ও বুক বা হৃৎপিণ্ডের সঙ্গে যন্ত্রটি কঠিনের সংযোগ রক্ষা করে। ইহাতে ফুসফুসের নিশ্বাসপ্রশ্বাসের শব্দ ও হৃৎপিণ্ডের স্পন্দনের শব্দ স্পষ্ট শোনা যায়। একটি ঘরের চারিপাশে দুইটি প্রাচীরের মধ্যে বাতাস রাখিলে ঘর হইতে শব্দ বাহিরে শোনা যায় না।

(খ) **Hydrophone :** এই যন্ত্রের দ্বারা জলের মধ্যে বহু দূরের শব্দ স্পষ্টভাবে শোনা যায়। এই যন্ত্রের সাহায্যে ডুবো-জাহাজ, জলে নিমজ্জিত হিমশৈল কিংবা অন্যান্য দ্রব্যাদির দূরত্ব জানা যায়। ইহাতে জলের মধ্যে

নিমজ্জিত একটি Microphone গ্রাহক (reciever) থাকে। গ্রাহকের সঙ্গে একটি সুগ্রাহী ধাতব পর্দা (diaphragm) থাকে। পর্দায় শব্দতরঙ্গ আসিয়া আঘাত করে।

**91. কয়েকটি মাধ্যমে প্রতি সেকেণ্ডে শব্দের বেগ :**

| মাধ্যম | মিটার | মাধ্যম | মিটার |
|---|---|---|---|
| বায়ু ( শুষ্ক ) | 331·7 | লোহা ও কাচ | 5000 |
| $t^{\circ}c$তে বায়ু | $331{\cdot}7+{\cdot}54t$ | তামা | 3600 |
| হাইড্রোজেন | 1262 | ইস্পাত | 5100 |
| অক্সিজেন | 316 | রবার | 30-60 |
| জল ($t^{\circ}$C) | $1390+{\cdot}33t$ | | |

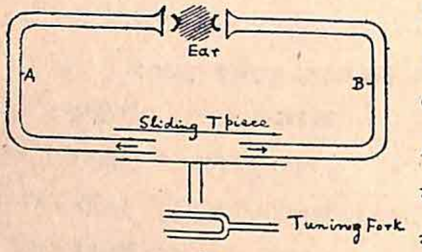
**92. বায়ু-প্রবাহ ও শব্দের বেগ** ( Wind and Velocity of Sound ) :

আমরা দেখিতে পাই, যে দিকে হাওয়া বহিতেছে সেদিকে শব্দ অনেক দূর পর্যন্ত শোনা যায় কিন্তু বায়ুপ্রবাহের বিপরীত দিকে খুব বেশী দূর আওয়াজ পৌছায় না।

বায়ুর শান্ত অবস্থায় অর্থাৎ বায়ুপ্রবাহ না থাকিলে শব্দের উৎপত্তিস্থলকে কেন্দ্র করিয়া তরঙ্গমুখ অর্ধগোলকের আকারে প্রবাহিত হয় এবং শব্দ-শক্তি গোলকের ব্যাসার্ধের দিকে প্রবাহিত হয়, শব্দের তীব্রতা (intensity) দূরত্বের বর্গফলের ব্যস্তানুপাতে কমিয়া যায়। অর্থাৎ 200 গজ দূরে শব্দের তীব্রতা 100 গজ দূরের শব্দের তীব্রতার এক-চতুর্থাংশ হয়। যদি বায়ুপ্রবাহ থাকে তাহা হইলে শব্দতরঙ্গের বেগ বায়ুপ্রবাহের বেগের দ্বারা বর্ধিত হইয়া বায়ুর অভিমুখে বেশী বেগে প্রবাহিত হয় ( 95নং চিত্র )।

**93. শব্দের দিক :** আমাদের কান শব্দের দিক অর্থাৎ কোন দিক হইতে শব্দ আসিতেছে তাহা নির্ণয় করার পক্ষে খুব উপযোগী যন্ত্র। যদি বাম দিক হইতে শব্দ আসে তাহা হইলে বাম কানে বেশী শুনি।

**পরীক্ষা :** 97নং চিত্রে দুই দিকে দুইটি পাতলা লোহার নল A ও B এবং মাঝে একটি T নল আছে। T নলটি এপাশে-ওপাশে সরানো যায় যাহাতে শব্দের পথের দৈর্ঘ্য দুই দিকে কম বা বেশী হয়। T নলের সামনে একটি কম্পমান স্বরশলাকা রাখ। A ও B নলের এই প্রান্তে দুই কান রাখ। এখন যদি T-নলকে খানিকটা বামদিকে সরাইয়া রাখ, মনে হইবে বাম দিক হইতে শব্দ আসিতেছে।



97নং চিত্র।

**94. শব্দ হইতে কোন বস্তুর দূরত্ব নির্ণয় (Sound Ranging) :** মনে কর, S বিন্দুতে একটি কামান আছে। এখন কামানের শব্দ শুনিয়া কামানের অবস্থান বাহির করিতে হইবে। $P_1$, $P_2$, $P_3$ তিনটি দূরে দূরে অবস্থিত স্থান। এই তিন স্থানে কামানের শব্দ শোনা যাইতেছে। মনে কর, $P_2$ স্থানে $P_1$ স্থান অপেক্ষা কামানের শব্দ পৌছাইতে 1 সেকেণ্ড দেরী হইল। অতএব $SP_2 - SP_1 = 1100$ ফুট প্রায়। মনে কর ইহার পর $P_3$তে শব্দ পৌছাইতে আরো $\frac{1}{2}$ সেকেণ্ড দেরী হইল। অতএব $SP_1 - SP_3 = 550$ ফুট। $SP_1 - SP_2 = 1100$ ফুট। এই সর্ত হইতে বোঝা যায় যে, S বিন্দু একটি পরাবৃত্তের (hyperbola) উপর অবস্থিত এবং $SP_1 - SP_3 = 550$ ফুট। S আর একটি পরাবৃত্তের উপর অবস্থিত। অতএব দেখা যায় যে, এই দুইটি পরাবৃত্ত যেখানে ছেদ করিয়াছে সেই ছেদ-বিন্দুতে কামান অবস্থিত হইবে। এইরূপে সমুদ্রে জাহাজের অবস্থান নির্ণয় করা যায়।

**অঙ্ক : 1.** A man sets his watch by the noon whistle of a factory at a distance of 1 mile. How many seconds is his watch slower than the time-piece of the factory (V. of sound is 332 metres per second)? (P. U. 1941)

কারখানার বাঁশীর শব্দ 1 মাইল আসিতে যে সময় লয় তাহা সেই ব্যক্তি গণনা করে নাই। সুতরাং এই সময় তাহার ঘড়ি কম চলিবে।

332 মিটার = 1088 ফুট এবং 1 মাইল = 5280 ফুট

∴ 1 মাইল আসিতে শব্দের সময় লাগে $\frac{5280}{1088} = 4 \cdot 85$ সেকেণ্ড

∴ ঘড়ি 4·85 সেকেণ্ড স্লো হইবে।

2. A piece of stone is dropped into a well and the splash is heard after 1·45 seconds. Calculate the depth of the well. ($V = 332$ metres per second). ( P. U.1919 )

মনে কর কূপের গভীরতা $= x$ মিটার এবং ঢিলের পতনের সময় $= t$

∴ জলে ঢিলের পতনের শব্দ জলতল হইত কূপের মুখে পৌছাইতে $(1 \cdot 45 - t)$ সেকেণ্ড লাগে। ∴ $x =$ শব্দের বেগ $V \times$ সময় $t = V(1 \cdot 45 - t)$

আবার $x = \frac{1}{2}gt^2$.

∴ $V(1 \cdot 45 - t) = \frac{1}{2}gt^2$ ∴ $332(1 \cdot 45 - t) = \frac{1}{2} \times 9 \cdot 81 \times t^2$

( কারণ $g = 981$ মিঃ ) বা $332 \times 1 \cdot 45 - 332t = 4 \cdot 9t^2$

বা $4 \cdot 9t^2 + 332t - 481 \cdot 4 = 0$ ∴ $t = 1 \cdot 42$ সেঃ

∴ কূপের গভীরতা $x = 332(1 \cdot 45 - 1 \cdot 42) = 332 \times 0 \cdot 03 = 9 \cdot 96$ মিটার।

## সারাংশ

দুইটি দূরবর্তী স্থানের মধ্যে এক স্থানে শব্দ উৎপন্ন করিয়া অপর স্থানে শব্দ পৌছিতে কত সময় লাগে তাহা প্রথমে নির্ধারণ করিতে হইবে। $v = \frac{1}{2}\left(\frac{x}{t_1} + \frac{x}{t_2}\right)$. তপ্ত তার মাইক্রোফোনের সাহায্যে এই পরীক্ষা ভালভাবে হয়। গ্যাসীয় $V = \sqrt{\frac{P}{D}}$ ; মাত্র চাপ পরিবর্তনে কোন গ্যাসে শব্দের বেগ বদলায় না। উষ্ণতা বা আর্দ্রতা বাড়িলে শব্দের বেগ বাড়ে। শব্দের বেগ কঠিন ও তরল পদার্থে বায়ুর তুলনায় অনেক বেশী।

## প্রশ্ন

1. 240 ফিট গভীর কূপের মধ্যে একটি ঢিল ফেলা হইল। ঢিল পড়ার শব্দ 4·1 সেকেণ্ড পর শোনা গেল। শব্দের বেগ কত?

A piece of stone is thrown into a well 240 ft. deep. The sound of the fall of stone is heard after 4·1 seconds. What is the velocity of sound.

( Ans. 1044 ft. per sec. )

2. শব্দের বেগের নিউটনের ফরমূলা বাহির কর। লাপলাস কি সংশোধন প্রস্তাব করেন। উষ্ণতা ও চাপ কিভাবে শব্দের বেগকে প্রভাবিত করে বল।

Find out the Newton's formula of the volocity of sound. What corrections did Laplace propose? How did temperature and pressure affect velocity of sound?

( P. U. 1947 ; C. U. 1937, '49, '57 )

3. বায়ুতে কি প্রকারে শব্দের বেগ নির্ণয় করা হয়। যদি প্রবল বায়ু প্রবাহিত হয় তবে কি একই ফল পাওয়া যায়? বায়ুপ্রবাহের ফল কি প্রকারে নিরসন করা যায়? গ্রীষ্মে ও শীতে কি শব্দের বেগ এক পাওয়া যায়। কারণসহ উত্তর দাও।

How is the velocity of sound in air determined? If a strong wind blows, is the result the same? How tne effect of wind is removed? Is the velocity of sound remains the same in summer and winter? Answer with reasons?

( C. U. 1931 )

4. গ্যাসের ঘনাঙ্কের সহিত শব্দের বেগের সম্পর্ক কি?

What is the relation of density of a gas with velocity sound in it?

5. বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয় করিবার দুইটি পদ্ধতি বর্ণনা কর। বায়ুর চাপ ও উষ্ণতা দ্বারা বেগ কিরূপভাবে পরিবর্তিত হয় বল।

Describe two experiments for determining velocity of sound in air. How do temperature and pressure of air affect velocity of sound.

( C. U. 1937, '41, '51 ; A. U. 1946 ; P. U. '60, '30, '43, '52 )

## চতুর্থ অধ্যায়

## Reflection of Sound ( শব্দের প্রতিফলন )

95. **আলোক-তরঙ্গের ও শব্দ-তরঙ্গের তুলনা :** (ক) আলোক-তরঙ্গ তির্যক তরঙ্গ, শব্দ-তরঙ্গ সংকোচন ও তনুভবনের অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ। (খ) দুই তরঙ্গই উৎপত্তি-স্থানকে কেন্দ্র করিয়া চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে। (গ) আলোক-তরঙ্গের বেগ খুব প্রচণ্ড, সেকেণ্ডে 186000 মাইল। শব্দ-তরঙ্গের বেগ খুব কম, সেকেণ্ডে মাত্র 1100 ফুট। (ঘ) আলোকের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য খুব ছোট, শব্দের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য খুব বড়। (ঙ) সুবিধার জন্য সরল রেখা দ্বারা আলোক-তরঙ্গ ও শব্দ-তরঙ্গের পথ প্রকাশিত হয়। এই সরল রেখা-গুলিকে আলোক-রশ্মি ও শব্দরশ্মি ( light and sound rays ) বলে। ( মনে রাখিবে, আলোক-তরঙ্গ বা শব্দ-তরঙ্গ সত্যই এইরূপ সরল রেখার সমষ্টি নয়। ) (চ) আলোক-তরঙ্গ ও শব্দ-তরঙ্গ নির্দিষ্ট নিয়মানুসারে প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত হয় কিন্তু তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের বিরাট পার্থক্যের জন্য প্রতিফলন ও প্রতিসরণের অবস্থা বিভিন্ন হয়, যথা, শব্দের বেলায় প্রতিফলক ও প্রতিসরণতল খুব বড় হওয়া চাই এবং এই তলগুলি আলোকের তল অপেক্ষা কম চক্‌চকে হইলেও চলে। (ছ) আলোক-তরঙ্গ শূন্য দিয়া যায়, শব্দ-তরঙ্গ শূন্য দিয়া যায় না। (জ) সূর্যালোক যেমন অনেকগুলি বিভিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের ( বর্ণের ) আলোকের সমষ্টি, সাধারণ শব্দ অনেক রকম ছোট-বড় অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের সমষ্টি। তরঙ্গের কম্পনাঙ্ক যত বেশী হইবে তার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য তত ছোট হইবে। শব্দের কম্পনাঙ্ক যত বাড়ে স্বরগ্রাম তত উচুতে উঠে। বড় তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের শব্দ কান দিয়া ধরা যায়। ছোট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের শব্দ সুগ্রাহী শিখা ( sensitive flame ) দ্বারা ধরা যায়।

**পরীক্ষা :** B নল দিয়া শব্দ আসিতেছে। A হইল একটি গ্যাসের শিখা। নরম সুরের ( ছোট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের শব্দ) শব্দ কানে শোনা না যাইলেও শিখার আন্দোলনে বেশ ভালভাবে বোঝা যায়।

(ঞ) আলোকতরঙ্গ সরলপথে গমন করে, শব্দতরঙ্গ সরল পথে গমন করে এবং বাধা পাইলে সামান্য বাঁকিয়াও যায়। ইহার কারণ—তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য যত বড় হয় তরঙ্গ তত বাঁকিয়া যায়। শব্দের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বেশী (1·5 সেঃ মিঃ হইতে 11 মিটার) বলিয়া ইহা বাঁকিয়া যায়। ছোট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের শব্দ অনেকটা সরল রেখায় গমন করে।

ঘড়ির শব্দের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য খুব ছোট বলিয়া ঘড়িকে বিভিন্ন শব্দের পরীক্ষায় স্বনক বা শব্দের উৎপত্তি-স্থল হিসাবে ব্যবহার করা যায়।

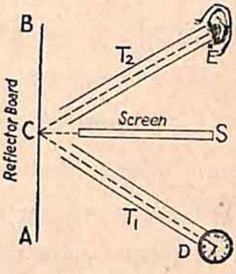
### 96. শব্দের প্রতিফলন :

**(ক) প্রতিফলক তলের প্রকৃতি :** ভাল প্রতিফলনের জন্য প্রতিফলক তলের ক্ষেত্রফল তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের তুলনায় বেশ বড় হওয়া চাই। শব্দ-তরঙ্গ আলোক-তরঙ্গের চেয়ে অনেক বড়। শ্রবণযোগ্য (audible) শব্দ-তরঙ্গের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য $\frac{1}{3}''$ হইতে 36 ফুট হয়। আলোকতরঙ্গের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এক ইঞ্চির $\frac{1}{16\times10^{-5}}$ ভাগ হইতে $\frac{1}{30\times10^{-5}}$ ভাগ হয়। অতএব আলোকতরঙ্গের অপেক্ষা শব্দতরঙ্গের প্রতিফলক তল বৃহত্তর হওয়া দরকার। আবার প্রতিফলক তল ততটা মসৃণ না হইলেও চলে। এই দুই কারণে ইটের দেওয়াল, গাছের সারি, পাহাড়ের গা সহজেই শব্দতরঙ্গ প্রতিফলিত করে। আলোকের তরঙ্গের ন্যায় শব্দতরঙ্গও এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে আপতিত হইলে আপতিত তরঙ্গের খানিকটা দ্বিতীয় মাধ্যমের তল হইতে প্রতিফলিত হয়, খানিকটা দ্বিতীয় মাধ্যম কর্তৃক শোষিত হয় এবং খানিকটা দ্বিতীয় মাধ্যম অতিক্রম করিয়া চলিয়া যায়।

**(খ) সমতল তলে শব্দের প্রতিফলন :**

**পরীক্ষা :** A B একখানি কাঠের সমতল প্রতিফলক বোর্ড লম্বভাবে ঝুলাও। একটি লম্বা সোজা ফাঁপা নল $T_1$কে বোর্ডের তলের সহিত C বিন্দুতে যে কোন নির্দিষ্ট কোণে ধর। আর একটি অনুরূপ $T_2$ নলকে এমনভাবে ধর যাহাতে $T_2$ নলের অক্ষ (axis) C বিন্দুর অভিমুখে থাকে। $T_1$ নলের D

প্রান্তে একটি হাত-ঘড়ি ধর। $T_2$ নলের E প্রান্তে কান রাখিয়া $T_2$ নলের C প্রান্তকে স্থির করিয়া E প্রান্তকে আস্তে আস্তে ঘুরাইয়া যাও যাহাতে ঘড়ির শব্দ সর্বোচ্চ জোরে শোনা যায়। এই অবস্থায় দুই নলকে বন্ধনী দিয়া আটকাও। ঘড়ি ও কানের মধ্যে সোজা শব্দতরঙ্গের গতি বন্ধ করিবার জন্য একটি পর্দা S রাখ। ঘড়ি হইতে শব্দ-তরঙ্গ নলের মধ্য দিয়া C বিন্দুতে আপতিত ও প্রতিফলিত হইয়া $T_2$ নল দিয়া কানে পৌছায়। এখন মাপিয়া দেখিলে বোঝা যায় যে :—

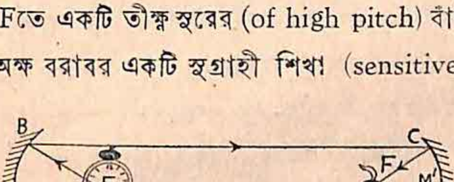


98নং চিত্র—শব্দের প্রতিললন।

(ক) আপতন কোণ DCS অর্থাৎ $T_1$ নলের অক্ষের ও অভিলম্ব CS-এর মধ্যবর্তী কোণ এবং প্রতিফলন কোণ SCE অর্থাৎ $T_2$ নলের অক্ষের ও অভিলম্ব SCর মধ্যবর্তী কোণ সমান।

(খ) $T_1$ ও $T_2$ নলের অক্ষ (অর্থাৎ আপতিত ও প্রতিফলিত রশ্মি) এবং অভিলম্ব একই তলে অবস্থিত হয়।

(গ) **অবতল তলে প্রতিফলন :** দুইটি অবতল দর্পণ BB′ ও CC′ একটু দূরে দূরে মুখোমুখি সমাক্ষভাবে (co-axially) রাখ। BB′ দর্পণের প্রধান ফোকস Fতে একটি তীক্ষ্ণ স্বরের (of high pitch) বাঁশী বাজাও। CC′ দর্পণের সম্মুখে অক্ষ বরাবর একটি সুগ্রাহী শিখা (sensitive flame) এদিক

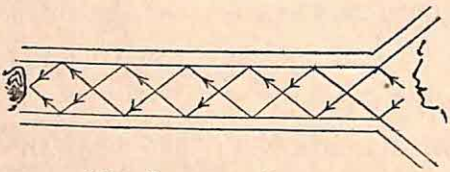


99নং চিত্র—অবতল দর্পণে শব্দের প্রতিফলন।

ওদিক সরাইলে দেখিবে কোন-এক বিন্দু F′তে শিখাটি ছোট হইবে। F′ বিন্দু CC′ দর্পণের প্রধান ফোকস। BB′ দর্পণের প্রধান ফোকস Fতে ঘড়ি রাখিলে CC′ দর্পণের প্রধান ফোকসে F′তে ঘড়ির আওয়াজ খুব জোরে শোনা যায়।

কান একটু সরাইলে কিংবা BB' দর্পণ একটু ঘুরাইলে শব্দ শোনা যায় না ; কেন ? BB' দর্পণের প্রধান ফোকস্ F হইতে শব্দতরঙ্গ উত্থিত হইয়া BB' দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া সমান্তরাল হয় এবং সমান্তরাল শব্দ রশ্মিগুচ্ছ CC' দর্পণে আপতিত হয় এবং প্রতিফলিত হইয়া F'তে কেন্দ্রীভূত হয়। সেইজন্য F'তে শব্দ জোরে শুনা যায়।

(ঘ) **প্রতিফলনের দৃষ্টান্তঃ** (1) আমাদের কানের ছিদ্রের মুখটা (pinna) অনেকটা অবতল। ইহাতে অনেকগুলি শব্দতরঙ্গ ছিদ্রের মুখে কেন্দ্রীভূত হয়। শব্দ জোর শোনা যায়। অনেক দূরের শব্দ শোনার জন্য আমাদের হাতের তালুকে কানের পিছনে গোল করিয়া ধরি। হাতের তালু অবতল দর্পণের মত কাজ করিয়া শব্দ-তরঙ্গকে কানের ছিদ্রের মুখে কেন্দ্রীভূত করে। (2) শ্রবণ-যন্ত্র (Ear-trumpets, কালা মানুষ যে যন্ত্রের সাহায্যে শব্দ শোনে), কথা বলার নল (speaking tube), ডাক্তারের বুক দেখিবার



100নং চিত্র—কথা বলিবার নল।

যন্ত্র (stethescope) প্রভৃতিতে একটি ফাঁপা ছোট ব্যাসের ধাতব নল A থাকে। ইহার একদিকে ফানেল B থাকে। ইহাকে mouth-piece বলে। Mouth-pieceকে শব্দের উৎপত্তি-স্থলে রাখা হয়। শব্দ-তরঙ্গ নলের ভিতরে ঢুকিয়া চারিদিকে ছড়াইয়া না পড়িয়া নলের ভিতর আবদ্ধ থাকিয়া নলের গায়ে অনবরত প্রতিফলিত হইয়া অপর মুখ C দিয়া বাহির হয়। C মুখে কান রাখিলে শব্দ জোরে শোনা যায়। (3) বড় বড় বক্তৃতাহলে পরাবৃত্তিক ( parabolic ) কাঠের প্রতিফলক থাকে। উহার প্রধান ফোকসে বক্তা দাঁড়াইয়া বক্তৃতা দেন। তাঁহার কথাগুলি প্রতিফলকে প্রতিফলিত হইয়া সমান্তরাল হইয়া বহুদূরের শ্রোতার কানে প্রবেশ করে। কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের সিনেট হলে এইরূপ প্রতিফলক ছিল। ঘরের বাঁকা ছাদ বা

# DUE SLIP

## মাধ্যমিক পদার্থ-বিদ্যা

দে ও সিংহ

FOR CLASS XI

**Due Slip Valid up to June, 1962**

---

প্রকাশ ভবন

১৫, বঙ্কিম চাটুজ্জে স্ট্রীট, কলিকাতা-১২